



United States
Department of
Agriculture

Forest
Service

International Institute of Tropical Forestry
PO Box 25000
Río Piedras, PR 00928-5000
Tel: (787) 766-5335 Fax: (787) 766-6263

File Code: 1630

Date: July 13, 2000

Dear Colleague:

Enclosed is the Institute's Annual Letter for Fiscal Year 1998-1999. The Annual Letter contains summaries of research accomplishments as well as a list of recent Institute publications available for exchange and general distribution. This Annual Letter also includes a report on our State and Private Forestry Program and results from some of our international research.

This Annual Letter might be the last one to be printed and the last one to be translated to Spanish. This was a difficult but unavoidable decision. Our intention is to make the next Annual Letter available in English only through our web page. We are updating our web page and will use it as a vehicle for disseminating information about Institute programs. The address to our current web page is:

<http://www.fs.fed.us/global/iitf/welcome.html>

Please keep us informed of your own progress in tropical forestry research.

Sincerely,

ARIEL E. LUGO
Director

Enclosure



Caring for the Land and Serving People

Printed on Recycled Paper
FS-6200-28b (12/93)





United States
Department of
Agriculture

Forest
Service

International Institute of Tropical Forestry
PO Box 25000
Río Piedras, PR 00928-5000
Tel: (787) 766-5335 Fax: (787) 766-6263

File Code: 1630

Date: 14 de julio de 2000

Estimado Colega:

Anejamos la Carta Anual del Instituto para el año fiscal 1998-99. La Carta Anual contiene resúmenes de los logros de investigación así como una lista de publicaciones recientes del Instituto disponibles para intercambio y distribución general. Esta Carta Anual también incluye un informe de nuestro Programa de Silvicultura Estatal y Privada y los resultados de algunas investigaciones internacionales.

Esta Carta Anual podría ser la última a ser impresa y la última a ser traducida al español. Está fue una decisión difícil, pero inevitable. Nuestra intención es tener la Carta Anual disponible solamente en inglés a través de nuestra página del web. Estamos en el proceso de actualizar nuestra página y la usaremos como un instrumento de diseminación de información de los programas del Instituto. La dirección de nuestra página actual es:

<http://www.fs.fed.us/global/iitf/welcome.html>

Le pedimos nos mantenga al tanto de su progreso en la investigación de bosques tropicales.

Atentamente,

ARIEL E. LUGO
Director

Anejo



Caring for the Land and Serving People

ANNUAL LETTER

1998-99

INTERNATIONAL INSTITUTE OF TROPICAL FORESTRY
RÍO PIEDRAS, PUERTO RICO

U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE
FOREST SERVICE

INTERNATIONAL INSTITUTE OF TROPICAL FORESTRY ANNUAL LETTER

1998-99
Contents

	Page
Ecological Research <i>Ariel E. Lugo</i>	1
Historical Perspective <i>Carlos M. Domínguez Cristóbal</i>	14
Restoration of Atlantic Forests in São Paulo State <i>John A. Parrotta and Vera Lex Engel</i>	18
Special Studies <i>Frank H. Wadsworth</i>	21
Research in Puerto Rico's Natural Forests <i>Peter L. Weaver</i>	23
Wildlife Research <i>Joseph M. Wunderle, Jr.</i>	24
Soil Disturbance by Uprooted Trees Following Hurricane Georges <i>Melanie T. Lenart</i>	28
Watershed Research <i>Fred N. Scatena</i>	31
Comparison of Storm Damage Caused by Hurricane Georges to 24 Species of Trees <i>John K. Francis</i>	57
Long-term Avian Research <i>Wayne J. Arendt</i>	59
Genetic Resources in Mahogany and Spanish Cedar <i>Sheila Ward</i>	62
Ecology and Growth of Big-leaf Mahogany (<i>Swietenia macrophylla</i> King) across Climatic and Edaphic Gradients Throughout its Native Range <i>Julio C. Figueroa Colón</i>	63
State and Private Forestry Accomplishments <i>Robin Morgan</i>	65
Forest canopy Damage and Recovery Compared in Reduced-Impact versus Conventional Selective Logging in Eastern Pará, Brazil <i>Michael Keller</i>	70
Appendix (Recent Publications of the International Institute of Tropical Forestry)	74
Versión en Español	100

CARTA ANUAL DEL INSTITUTO INTERNACIONAL DE DASONOMÍA TROPICAL

1998-99
Contenido

Página

Investigaciones ecológicas

Ariel E. Lugo

101

Perspectiva histórica

Carlos M. Domínguez Cristóbal

108

Restauración de bosques atlánticos en el estado de São Paulo

John A. Parrotta y Vera Lex Engel

112

Estudios especiales

Frank H. Wadsworth

115

La investigación de bosques naturales en Puerto Rico

Peter L. Weaver

117

Investigación en vida silvestre

Joseph M. Wunderle, Jr.

118

Disturbios de suelo causados por árboles desarraigados luego del huracán Georges

Melanie T. Lenart

122

Investigación de cuencas hidrográficas

Fred N. Scatena

125

Comparación de daños de tormenta causado por el huracán Georges a 24 especies de árboles

John K. Francis

127

Investigación de aves a largo plazo

Wayne J. Arendt

129

Los recursos genéticos en la caoba y el cedro hembra

Sheila Ward

132

La ecología y crecimiento de la caoba hondureña (*Swietenia macrophylla* King) a lo largo de gradientes climáticos y edáficos a través de su alcance nativo

Julio C. Figueroa Colón

133

Logros en bosques estatales y privados

Robin Morgan

135

Comparación de daños y recuperación del dosel forestal usando explotación maderera de bajo impacto y explotación selectiva convencional en el Este de Pará, Brasil

Michael Keller

139

Apéndice

(Publicaciones recientes del Instituto Internacional de Dasonomía Tropical)

74

ECOLOGICAL RESEARCH

Ariel E. Lugo
Ecologist

Big-Leaf Mahogany

A review of relevant research on the conservation status of big-leaf mahogany clarified a number of misconceptions about the species and its place in tropical forests (Lugo 1999). Many of these misconceptions have clouded the debate about whether or not to include big-leaf mahogany in Appendix II of the Convention for the International Trade of Endangered Species (CITES). The data compiled during this review were used to address 14 point-counterpoint issues surrounding a controversy about the ecology and management of big-leaf mahogany in tropical America. Four critical questions regarding the issues of genetic erosion and the conservation of genetic variations of big-leaf mahogany throughout its range were considered. Worst-case scenarios were examined and science-based conservation strategies were outlined. The following a fact sheet was derived from this review.

Facts on Big-leaf Mahogany

The complexity of tropical forests has long challenged foresters' efforts to manage their use sustainably. The applicability of Temperate Zone silvicultural systems to most tropical conditions is still unproven. Nevertheless, a large fund of knowledge and experience about tropical forest management has been acquired over more than a century. This experience has been summarized by Dawkins and Philip (1998) and Wadsworth (1997), providing guidelines for both the sustainable use and the protection of forest resources.

Sustaining big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla* King), an outstanding tree of tropi-

cal forests, is of particular interest. The timber of this tree is nearly unsurpassed in value for furniture and cabinet work. In the forest, the species is ecologically resilient. Its seed production is copious, even at early age; outcrossing is common, germination is abundant, seedlings respond to light and grow well under a wide range of conditions, nutrient use is efficient, growth is rapid, lifespan is long, and ultimate crown development dominates the forest canopy. The species is well adapted to forests opened by catastrophes or silvicultural treatment.

A current proposal to list the species in Appendix II of the Convention on the International Trade in Endangered Species (CITES), requiring certification of a sustainable source of traded mahogany, is derived from a worst-case scenario. Present or potential endangerment is laid to tropical deforestation, inadequate natural regeneration, genetic erosion arising from felling the best trees, and losses due to the shoot borer.

Another, equally supported scenario questions the present and potential endangerment of the species. This scenario notes that deforestation is not entirely concentrated in mahogany forests and raises doubts about reported "inadequacies" of natural regeneration. It finds a lack of evidence showing genetic variation in growth rates and in shoot-borer susceptibility throughout Central America, and foresees little probability of significant genetic erosion resulting from logging. Neither does it find evidence to support claims of significant losses to the shoot borer. Moreover, the existence of 150,000 hectares (ha) of plantations of mahogany suggests the possibility of an early offset, in terms of products, for timber removal from natural forests.

Recent work at the International Institute of Tropical Forestry, has contributed in several ways to the development of a scientifically based mahogany management model. The most recent contribution, which accompanies this fact sheet, is *Point-Counterpoints on the Conservation of Big-Leaf Mahogany* (Lugo 1999). This publication aims to "draw attention to research relevant to the evaluation of the conservation status of big-leaf mahogany and to clarify misconceptions concerning the species and its place in tropical forests." Dr. Lugo addresses the following issues in his paper:

- Big-leaf mahogany is adapted to several life zones, mainly in lowland dry or moist climates. Its natural range is wide, stretching some 200 million ha from Mexico to Bolivia.
- Big-leaf mahogany forests are vulnerable and need protection and sound management. The species is in no danger of extinction, but the stock of large trees has been reduced by utilization.
- Natural big-leaf mahogany forests show a favorable stem-diameter distribution, with trees of all sizes and with immature trees ready to assume dominance, given time.
- Big leaf mahogany in the natural forest and in plantations is a relatively fast-growing species. Mahogany increments, overall, may even equal the volume lost yearly to international trade, thus sustaining the total standing volume.
- There is no evidence that logging causes significant genetic erosion of this species. Evidence so far available suggests that there is a high gene flow among mahogany populations, but further research on this point is desirable.
- The mahogany shoot-borer (*Hypsipyla grandella*) has been shown by recent experience to be a manageable insect. Obviously no deterrent to the size or quality of the big-leaf mahogany being harvested from natural forests, the shoot-borer no longer prevents the success of large-scale plantations in areas where it exists.
- Regeneration success with big-leaf mahogany depends not only on abundant seed and sufficient light for seedling growth, but also on advanced regeneration already in place during the harvest of mature trees. Inventories indicate that in old-growth forests, immature trees are usually present.
- The high potential of big-leaf mahogany for regeneration may be set back by careless logging, but low-impact logging can protect the seedlings and immature trees. The latter, however, may not open the canopy enough to promote their growth. Silvicultural liberation treatment is generally needed.
- Active forest management is the best alternative for big-leaf mahogany conservation. Enough is known to provide guidance to tropical countries if they decide to manage their forests. This has the companion advantage of preserving much of the biodiversity that dominates forests where mahogany is a component.
- Deforestation does not necessarily rule out the production of big-leaf mahogany. Deforestation by the Mayan culture led to greater-than-normal mahogany populations.
- Big-leaf mahogany has characteristics that predispose it to success in planta-

tions. Its silviculture is well understood, and many examples of success exist. It has been used for forest restoration on abandoned agricultural areas and for underplanting beneath secondary forests that invade clearings.

- The volume of mahogany sold internationally each year is only 1 percent of the standing volume. This indicates that the "endangered" status of mahogany is a myth. In addition, growing concern with sustainability has led progressive producers of forest products concerned with market share to obtain certification of sustainability.
- Ninety-six percent of the tropical timber cut does not enter into international trade. Attempts to reduce tropical deforestation and endangerment of tropical timber species by imposing requirements that affect only international trade are therefore futile.
- Guarantee of a sustainable source of exported timber is unattainable for concessionaires removing timber from forests they do not own. Strict adherence to the requirement for such guarantees would depress the value of export timber that does not qualify as sustainable, and would add incentive to convert the land to some other use without even extracting the timber.
- The decision to list big-leaf mahogany under Appendix II of CITES is a matter of policy and not solely a technical decision. This determination nevertheless should rest on the scientific information currently available, including that presented in Dr. Lugo's paper.

Tree Plantations

Cuevas and Lugo (1998) studied the rates and patterns of carbon and nutrient fluxes in litterfall in 10 tropical tree plantation species grown at the USDA Forest Service Arboretum in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. The stands were 26 years old and grew under similar climatic and edaphic conditions. Individual plantation species ranked differently in terms of their capacity to return mass and specific nutrients to the forest floor, and their efficiency of nutrient use. The species that returned the most mass did not return the most potassium, nitrogen, or cations. Moreover, species differed according to the amount of nitrogen and potassium resorption before leaf fall. These differences reflect variations in the ecophysiological response of each species to edaphic and climatic conditions (figs. 1-3). The difference between average and minimum resorption values of the species studied indicates that other environmental factors, such as heavy winds or the physical effects of heavy rains, can force the shedding of nonsenesced leaves. This higher quality material, although not much in quantity, can provide a small pulse of available nutrients to the forest floor community. The same holds true for other high nutrient/low mass fractions of litterfall, such as reproductive parts and miscellaneous materials.

In areas with no prevalent or strongly seasonal water limitations, temporal variations of leaf litter on the forest floor are the combined result of the rate of fall and the decomposition of the falling material, as well as the diverse responses of species to different environmental cues (fig. 4). Leaf fall was inversely correlated to reduced water availability in three of the species studied. Leaf fall of the other species was correlated either to daylight duration or minimum temperatures. The results highlight the importance of understanding species performance relative to nutrient and mass metabolism

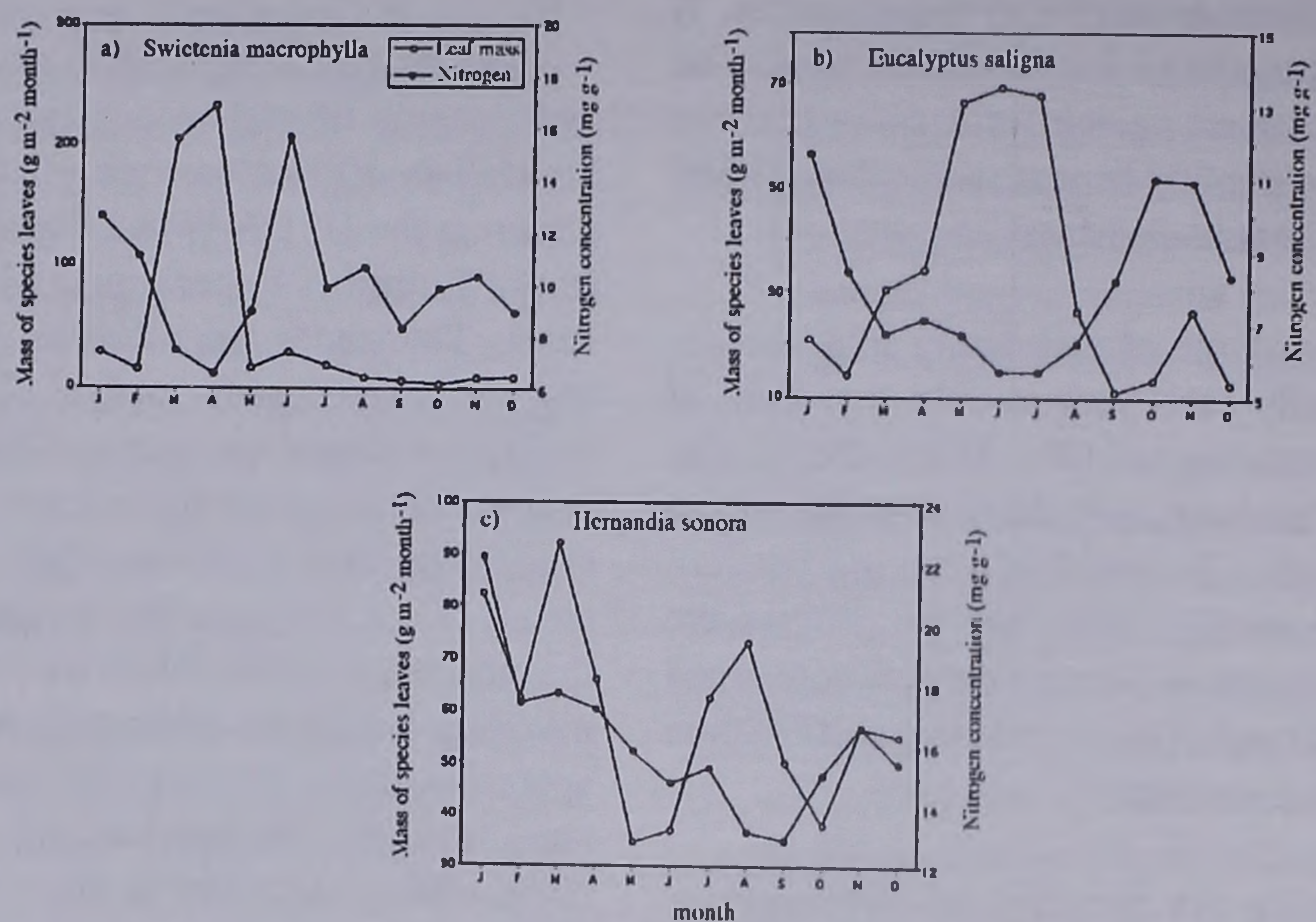


Figure 1. —Annual pattern of mass and nitrogen concentrations of the species leaves fraction of litterfall in three plantation tropical tree species in the Luquillo Experimental Forest Arboretum. The three species, *Swietenia macrophylla*, *Eucalyptus saligna*, and *Hernandia sonora*, illustrate the different patterns of nitrogen concentrations observed in the 10 species studied.

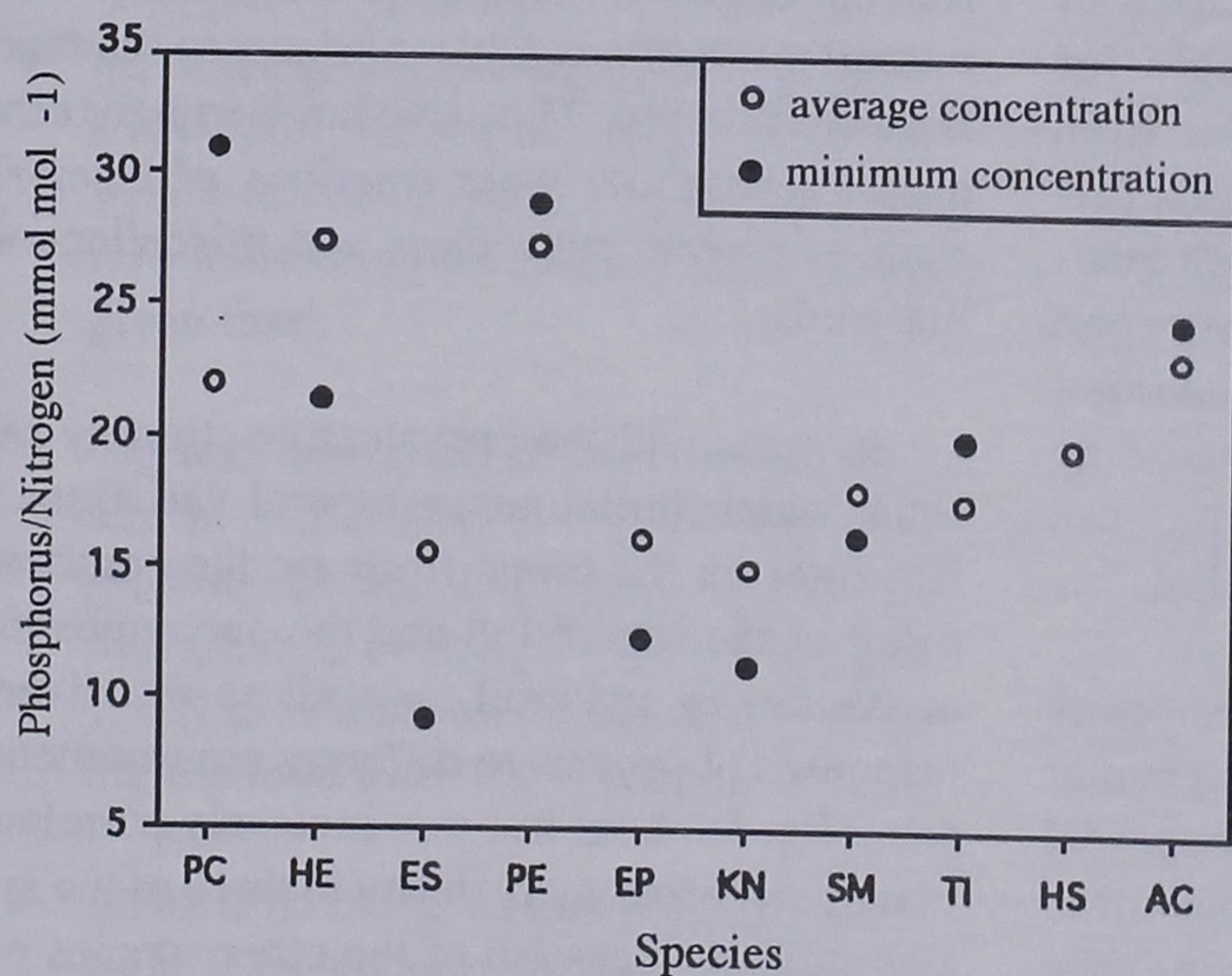


Figure 2. —Phosphorus/nitrogen (P/N) ratios, on a mmol mol⁻¹ basis, of the species leaf-fall tree plantation in the Luquillo Experimental Forest. PC=*Pinus caribea* var. *hondurensis*, HE=*Hibiscus elatus*, ES=*Eucalyptus saligna*, PE=*Pinus elliottii* var. *densa*, EP=*Eucalyptus* cf. *patent-nervis*, KN=*Khaya niasica*, SM=*Swietenia macrophylla*, TI=*Terminalia ivorensis*, HS=*Hernandia sonora*, and AC=*Anthocephalus chinensis*.

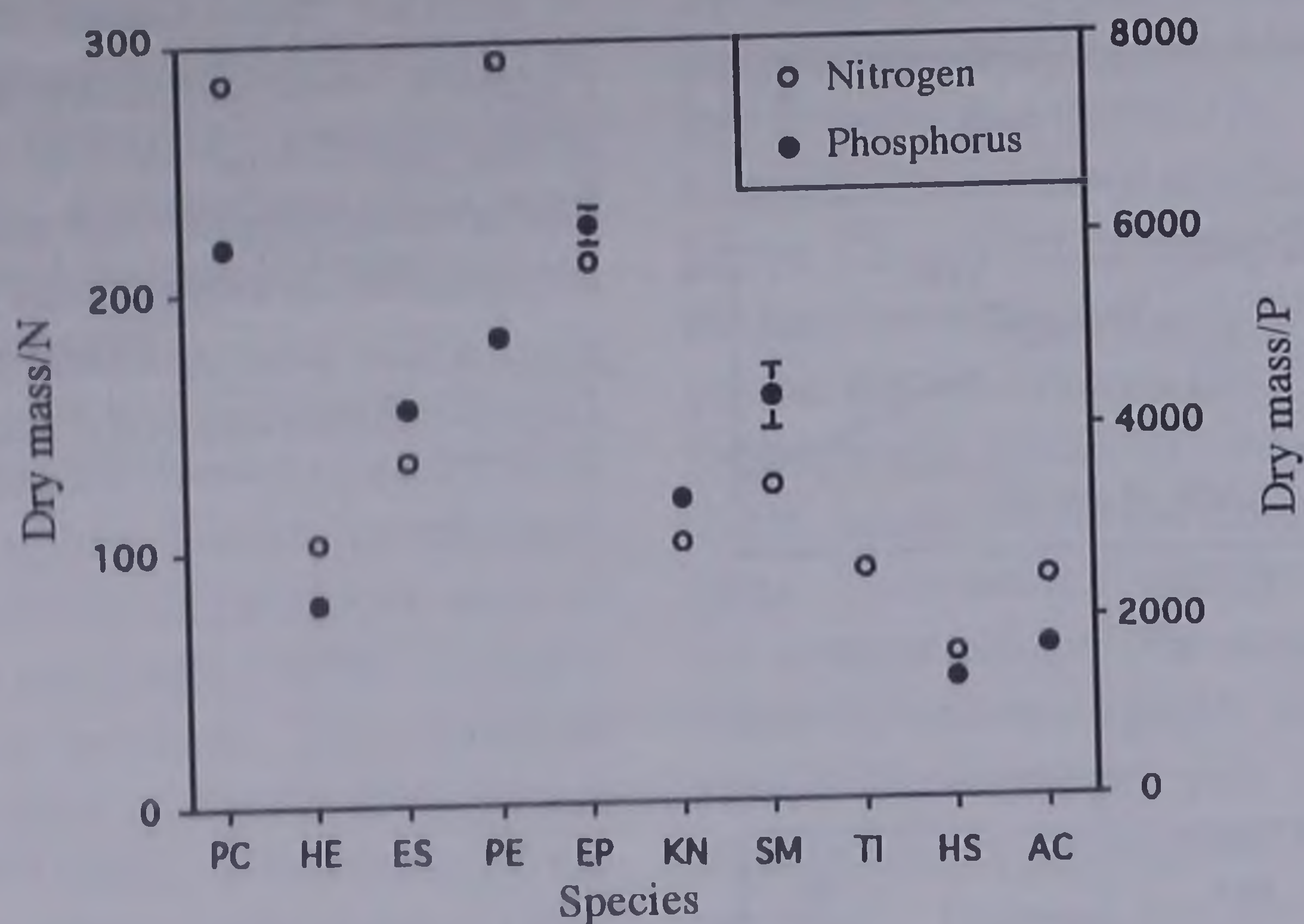


Figure 3. —Efficiency of nitrogen or phosphorus utilization (Vitousek 1982) of 10 tropical plantation species. Vertical lines are one standard error of the mean ($n=6$). PC=*Pinus caribea* var. *hondurensis*, HE=*Hibiscus elatus*, ES=*Eucalyptus saligna*, PE=*Pinus elliottii* var. *densa*, EP=*Eucalyptus* cf. *patentinervis*, KN=*Khaya nyasica*, SM=*Swietenia macrophylla*, TI=*Terminalia ivorensis*, HS=*Hernandia sonora*, and AC=*Anthocephalus chinensis*.

before the selection for plantation use, or for rehabilitation of degraded lands.

Disturbance Ecology

Large, infrequent disturbances (LID's) can have significant impacts yet seldom are included in management plans (Dale and others 1999). Although this neglect may stem from relative unfamiliarity with a kind of event that rarely occurs in the experience or jurisdiction of individual managers, it may also reflect the assumption that LID's are so large and powerful as to be beyond the ability of managers to affect. However, some LID's can be affected by management, and for many of those that cannot be affected, the resilience or recovery of the system disrupted by the disturbance can be influenced to meet management goals. Such results can be achieved through advance planning that allows for LID's, whether caused by natural

events, human activities, or a combination of the two. Management plans for LID's may adopt a variety of goals, depending on the nature of the system and the nature of the anticipated disturbance regime. Managers can choose to influence (a) the system prior to the disturbance, (b) the disturbance itself, (c) the system after disturbance, or (d) the recovery process. Prior to the disturbance, the system can be managed in ways that alter its vulnerability or change how it will respond to a disturbance. The disturbance can be managed through no action, preventive measures, or manipulations that can affect the intensity or frequency of the disturbance. Recovery efforts can focus on either managing the state of the system immediately after the disturbance or managing the ongoing process of recovery. Our review of the management implications of LID's suggests that management actions should be tailored to particular disturbance characteristics and management goals (table 1).

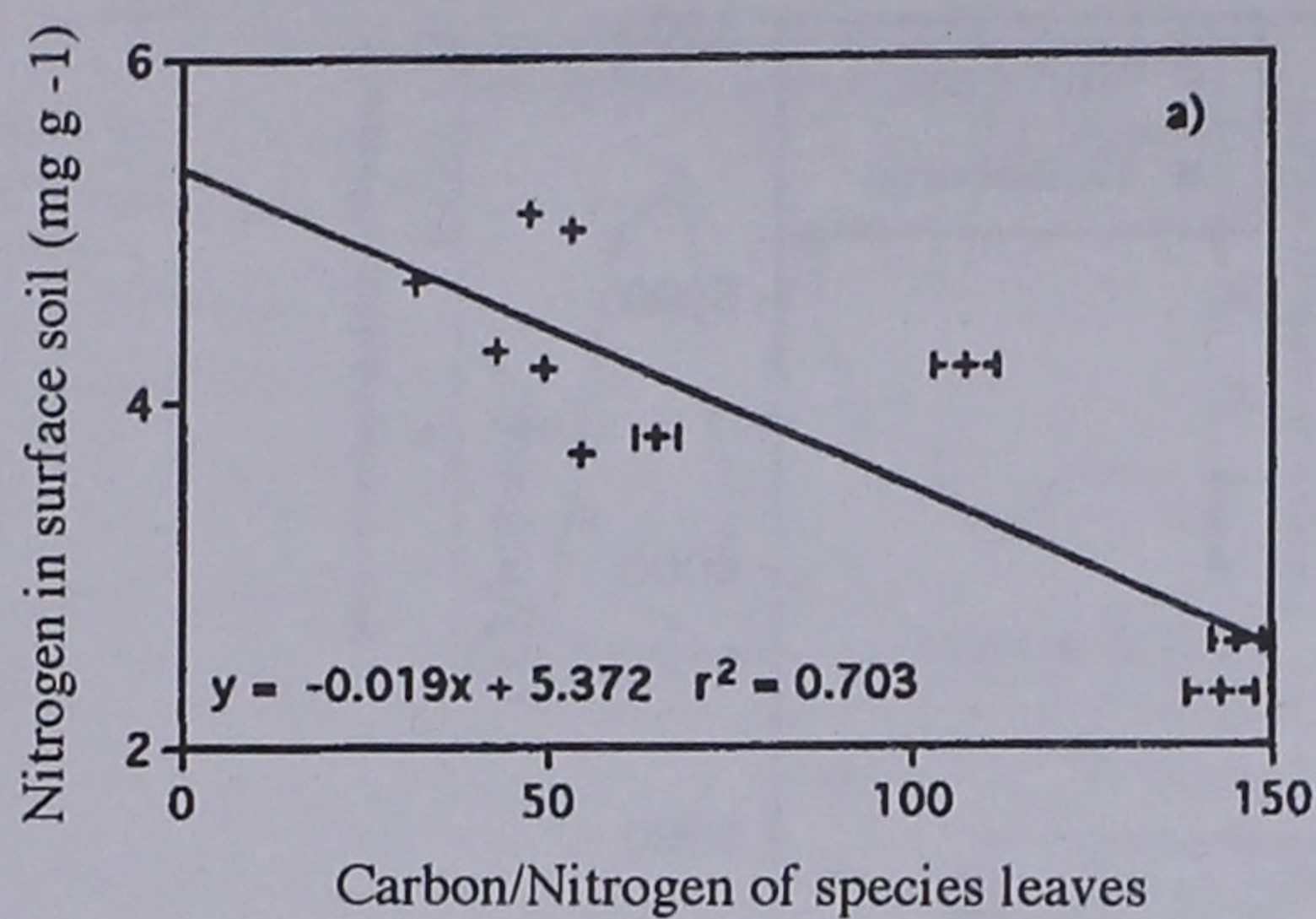


Figure 4. —Relationship between quality of leaf fall (based on C/N and C/P ratios) and availability of (a) nitrogen and (b) phosphorus in surface soil layer of the 10 plantation tree species studied in the Luquillo Experimental Forest Arboretum.

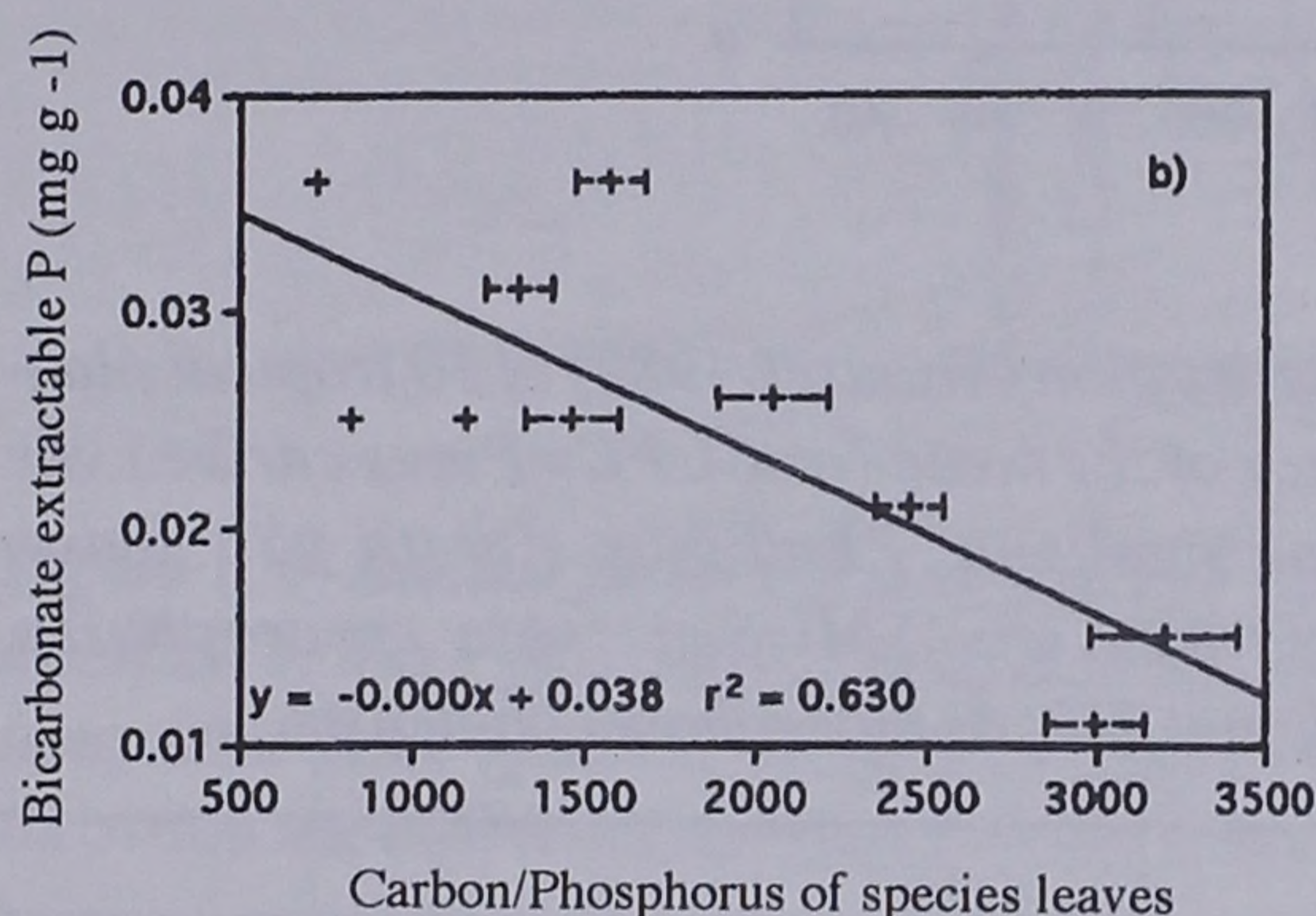


Table 1. —Relationship between management interventions and succession processes.

Successional processes	Management interventions		
	Add	Kill or remove	Alter structure
Migration	Seeds; eggs; lure; feed, or attract dispersers	Flooding system (zebra mussels); frighten or terrify; remove dispersal agent	Bird perches (seed dispersal); landscape structures
Establishment (ecesis)	Saplings	Postemergent herbicides, weeding, thinning, sterilize adults	Nest boxes, landscape structures
Biotic interactions	Predators, herbivores, rhizobium, mycorrhizae	Competitor control, food-web cascade, predators, herbivores, rhizobium, mycorrhizae	Beehives (pollination), landscape structures
Reaction	Fertilizer, irrigation, mulch	Raking, thinning, edge manipulation	After dispersion patterns, landscape structures

Management actions should foster survival of residuals and spatial heterogeneity that promote the desired recovery pattern and process. Most importantly, however, management plans need to recognize LID's and include the potential for such disturbances to occur.

Long-term studies are needed to understand the dynamics of tropical forests, particularly those subject to periodic disturbances such as hurricanes. Frangi and Lugo (1998) studied a flood plain *Prestoea montana* palm forest in the Luquillo Mountains of Puerto Rico over a 15-year period (1980-1995), which included the passage of Hurricane Hugo in September 1989. The passage of the hurricane caused the dominant species to become more dominant and created low instantaneous tree mortality (1 percent of stems), and reductions in both tree biomass (- 16 Mg per ha per year), and density, although not in basal area. Five years after the hurricane,

the palm flood-plain forest had exceeded its prehurricane aboveground tree biomass (fig. 5), tree density, and basal area. Aboveground tree biomass accumulated at a rate of 9.2 Mg per ha per yr, 76 percent of which was palms. Before the hurricane this rate was on the order of 3 Mg per ha per yr. Forest floor litter decreased to prehurricane levels (6.7 Mg per ha), within 5 years, mostly due to the disappearance of woody litter. Thirteen tree species not represented in the canopy entered the forest by regeneration (table 2), and two species suffered mortality of almost 20 percent per year over a 5-year period after the storm (flood plain average of 2 percent per year). Delayed tree mortality was twice as high as instantaneous tree mortality after the storm, and affected dicotyledonous trees more than it did palms (table 3). Regeneration of dicotyledonous trees, palms, and tree ferns was influenced by a combination of factors including hydroperiod, light, and space. Redundancy

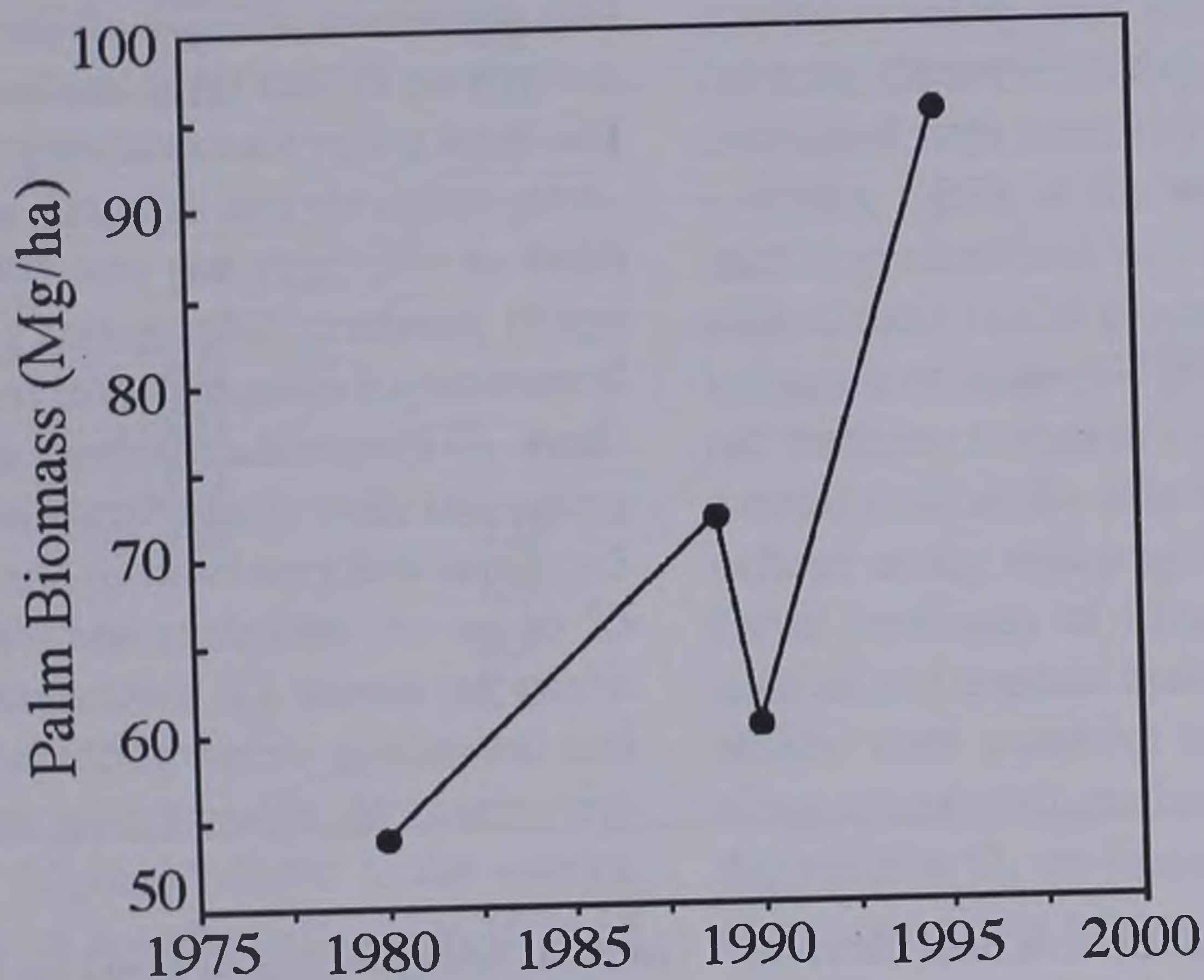


Figure 5. —Temporal pattern of aboveground biomass for *Prestoea montana* trees in a flood-plain palm forest in the Luquillo Mountains of Puerto Rico. Hurricane Hugo passed over the stand in 1989.

Table 2. —Species importance values based on relative basal area and relative stem density for dicotyledonous trees with DBH \geq 4 cm and palms and ferns with height of \geq 0.7 m. Species are listed in order of importance value in 1995; some were combined by genera; empty fields mean that the species was not recorded that year. Hurricane Hugo passed over the stand in 1989.

Species	Importance value (%)		
	1980	1990	1995
	----- Percent -----		
<i>Prestoea montana</i>	46.4	43.8	53.5
<i>Micropholis chrysophylloides</i>	19.5	20.8	18.9
<i>Croton poecilanthus</i>	12.7	11.8	7.6
<i>Micropholis garciniaefolia</i>	5.7	7.2	6.9
<i>Magnolia splendens</i>	2.9	2.4	3.0
<i>Calicogonium squamulosum</i>	3.2	4.4	2.5
<i>Eugenia eggersii</i>	2.7	2.2	1.8
<i>Sloanea berteriana</i>	1.6	2.1	1.4
<i>Cyrilla racemiflora</i>	1.1	1.5	1.3
<i>Ditta myricoides</i>	0.9	0.9	0.6
<i>Byrsonima wadsworthii</i>	0.1	0.4	0.6
<i>Tabebuia rigida</i>	0.2	0.5	0.4
<i>Cyathea</i> sp.	0.1	0.5	0.4
<i>Myrcia</i> sp.	0.5	0.2	0.3
<i>Guarea</i> sp.	0.1	0.2	0.2
<i>Eugenia borinquensis</i>	0.2	0.2	0.2
<i>Ocotea spatulatha</i>	0.7	0.1	0.1
<i>Psychotria berteriana</i>	0.1		0.1
<i>Didimopanax morototoni</i>			0.1
<i>Cecropia peltata</i>			0.1
Unknown			0.1
<i>Xylosma schwaneckeanum</i>		0.5	
<i>Clusia clusioides</i>		0.2	
<i>Casearia guianensis</i>		0.2	
<i>Ilex sideroxyloides</i>	0.1	0.1	
<i>Ocotea leucoxylon</i>	0.3		
<i>Miconia tetrandra</i>	0.4		
<i>Torrabasia cuneifolia</i>	0.2		
<i>Ilex nitida</i>	0.1		

Data analysis showed that the area near the river channel was the most favorable for plant regeneration. Palm regeneration was higher in locations with longer hydroperiods, while regeneration of dicotyledonous trees was higher

in areas with low risk of flooding (table 4). This study shows how a periodic disturbance provides long-term opportunities for species invasions and long-term response at the patch scale of <1 ha.

Table 3. —Tree mortality (trees/ha) between 1990 and 1995 in a flood plain-palm forest in the Luquillo Mountains of Puerto Rico. Annual mortality (%/yr) is based on the percentage of live trees in 1990 that were dead in 1995 divided by time interval. Data are for dicotyledonous trees with DBH \geq 4 cm and ferns and palms \geq 0.7 m tall.

Species	Delayed mortality	Other mortality	Total mortality	Annual mortality
<i>Prestoea montana</i>	36	48	84	1.8
<i>Croton poecilanthus</i>	36	16	52	3.6
<i>Calicogonium squamulosum</i>	16	0	16	3.0
<i>Micropholis garciniaefolia</i>	8	0	8	1.6
<i>Xilosma schwaneekeanum</i>	8	0	8	10.0
<i>Casearia guianensis</i>	4	0	4	19.0
<i>Dirta myricoides</i>	0	4	4	2.8
<i>Ilex sideroxiloides</i>	4	0	4	19.0
Total for flood plain	112	68	180	2.0
Annual rate (trees/ha/yr)	22	13	35	—

Basic Ecology

Silver and others (1999) measured soil oxygen concentrations at 10 and 35 cm depths, and indices of biogeochemical cycling in upland forest soils along a rainfall and elevation gradient (3500 to 5000 mm per year; 350 to 1050 masl), and along topographic gradients (ridge to valley, ~150 m) in the Luquillo Experimental Forest. Along the rainfall gradient, soil O₂ availability decreased significantly with increasing rainfall (fig. 6), and reached very low levels (<3 percent) in individual chambers for up to 25 consecutive weeks over 82 weeks of study. Along localized topographic gradients, soil O₂ concentrations were variable, decreasing significantly from ridges to valleys. In the valleys, up to 35 percent of the observations at 10 to 35 cm depth were <3 percent soil O₂. Cross-correlation analyses of soil O₂ concentrations showed significantly positive correlations along the topographic gradient, and were sensitive to rainfall and hydrologic output. Soil O₂ concen-

trations in valley soils were correlated with rainfall and hydrologic output. Soil O₂ concentrations in valley soils were correlated with rainfall from the previous day, while ridge sites were correlated with cumulative rainfall inputs over 4 weeks. Soils at the wettest point along the rainfall gradient had very high soil methane concentrations (3 to 24 percent) indicating a strong influence of anaerobic processes. We measured net methane emission to the atmosphere at the wettest sites of the rainfall gradient, and in the valleys along topographic gradients (table 5). Other measures of biogeochemical function, such as soil organic matter content and P availability were sensitive to chronic O₂ depletion along the rainfall gradient, but less sensitive to the variable O₂ environment exhibited at lower elevations along topographic gradients.

Public Outreach

As staff ecologist, I am heavily involved every year in public outreach and education.

Table 4. —Matrix of ecological conditions under which trees regenerate in a flood-plain palm forest in the Luquillo Mountains of Puerto Rico. The matrix illustrates the interplay between factors associated with microtopography (degree of flooding and water turnover) and light intensity as a result of disturbance (gaps of several sizes), absence of disturbance (no gaps), or the location of the axis for the river channel where light is naturally abundant.

		Low light		High light	
Ecological condition		No damage to canopy	Small canopy gaps	Along river	Large gaps
Low relief	Stagnant water	No regeneration	No regeneration	Little regeneration	Little regeneration
	Moving water	Low regeneration	Low regeneration well	Palms regeneration well	Palms regeneration well
High relief	Moving water	Low regeneration dicots ¹	Low to medium regeneration dicots	All trees regenerate well	All trees regenerate well
	Infrequent flooding	No regeneration	High regeneration of dicots	High regenerate of dicots	High regenerate of dicots

¹ Dicotyledonous trees

Table 5. —Net methane efflux ($\text{mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) across the soil atmosphere interface along a landscape-scale rainfall gradient and localized topographic gradients in the Luquillo Experimental Forest, PR. Standard errors in parentheses. Different lowercase letters show statistically significant differences among forest types along the rainfall gradient, or among topographic zones along the localized gradients.

Site	CH_4 efflux	(Se)
Cloud	97.66	(49.78) a
Colorado	0.32	(0.24) b
Tabonuco	-0.48	(0.07) c
Ridge	-0.78	(1.23) a
Slope	-2.62	(1.68) a
Valley	4.55	(1.19) b

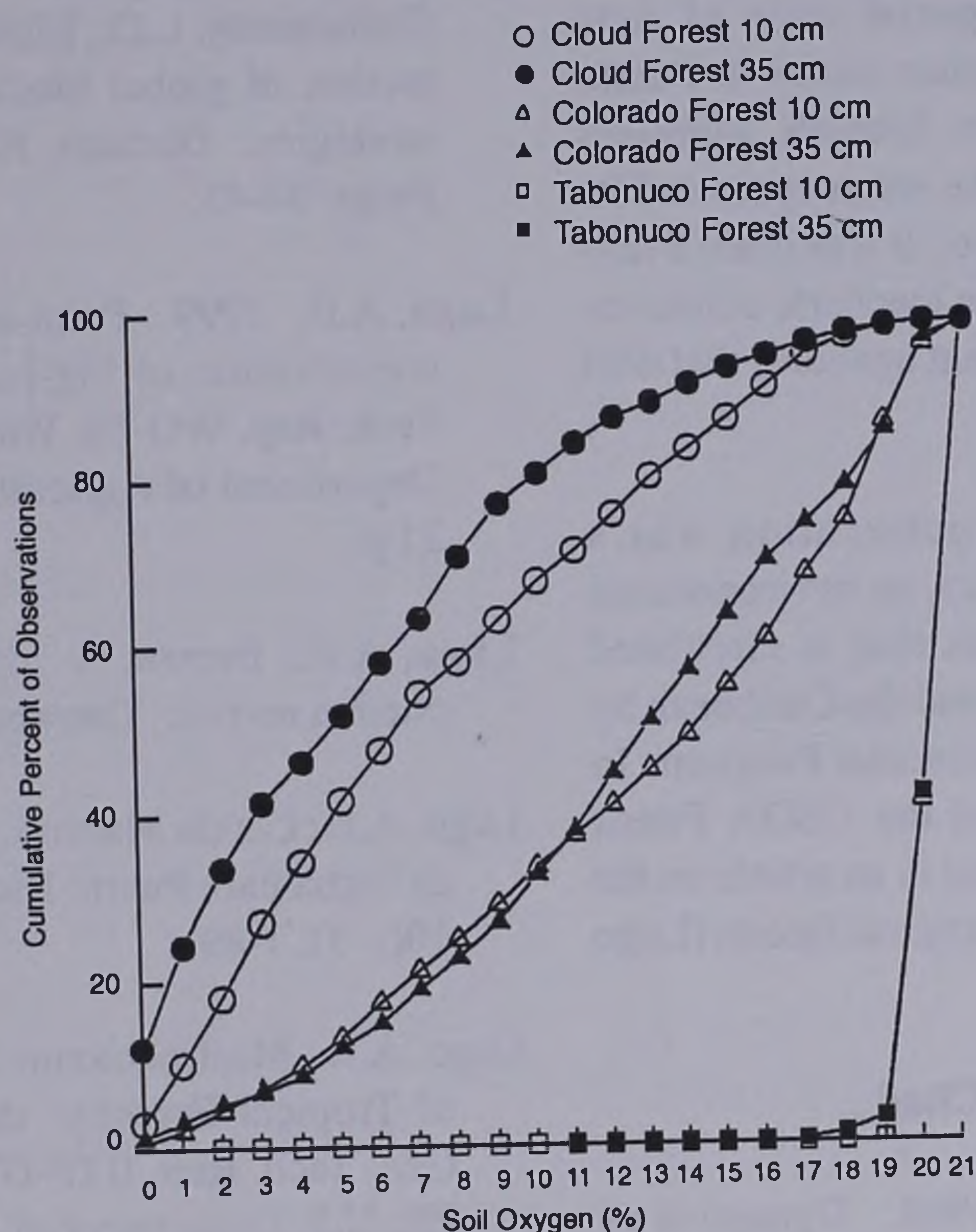


Figure 6. —The cumulative percentage of observations of soil O_2 concentrations ranging from 0-21 percent along a rainfall and elevation gradient in the Luquillo Experimental Forest, PR. (O) upper elevation cloud forest 10 cm depth; (●) cloud forest 35 cm depth; (Δ) mid-elevation colorado forest 10 cm depth; (▲) colorado forest 35 cm depth; (□) lower elevation tabonuco forest 10 cm depth; (■) tabonuco forest 35 cm depth.

Many times, the talks I give at national and international fora are published; for example, the one presented at a conference on biological diversity: "Exploring the Complexities", held at the University of Arizona in 1997 (Lugo 1998). This year, three additional manuscripts were published in support of these efforts.

The first one (Lugo and Mastrantonio 1999), is a summary of the activities of the Institute over its first 50 years of existence. This is an attractive publication with numerous pictures of Institute personnel in action and a narrative about the changing forestry conditions under which the Institute operated in Puerto Rico.

A second manuscript (Lugo and García Martínó 1996), was a special issue of *Acta Científica* dedicated to water issues in Puerto Rico. This publication, in Spanish, addresses 140 questions regarding the water cycle and its management in Puerto Rico. It was made available to high school science teachers, conservation groups, and government agencies that deal with water management.

The third outreach publication was a special issue of *Tierramérica*, an environmental supplement to newspapers that is circulated throughout Latin America and the Caribbean by the United Nations Environmental Program. In this issue, the Institute and the USDA Forest Service were widely covered in an article on the status and rehabilitation of tropical forests (Lugo and Brown 1998).

Literature Cited

Cuevas, E.; Lugo, A.E. 1998. Dynamics of organic matter and nutrient return from litterfall in stands of ten tropical tree plantation species. *Forest Ecology and Management*. 112: 263-279.

Dale, V.H.; Lugo, A.E.; MacMahon, J.A.; Pickett, S.T.A. 1999. Ecosystem management in the context of large, infrequent disturbances. *Ecosystems*. 1: 546-557.

Dawkins, H.C.; Philip, M.S. 1998. Tropical moist forest silviculture and management: a history of success and failure. CAB International, New York, NY. 359 p.

Frangi, J.L.; Lugo, A.E. 1998. A flood plain palm forest in the Luquillo Mountains of Puerto Rico five years after Hurricane Hugo. *Biotropica*. 30(3): 339-348.

Lugo, A.E. 1998. Biodiversity and public policy: the middle of the road. In: Guruswamy, L.D.; McNeely, J.A., eds. Protection of global biodiversity: converging strategies. Durham, NC: Duke University Press: 34-45.

Lugo, A.E. 1999. Point-counterpoints on the conservation of big-leaf mahogany. Gen. Tech. Rep. WO-64. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 21 p.

Lugo, A.E.; Brown, S. 1998. Los trópicos pueden revivir. *Tierramérica*. 4(1): 6-7, 16.

Lugo, A.E.; García Martínó, A.R. 1996. Cartilla del agua para Puerto Rico. *Acta Científica*. 10(1-3): 1-89.

Lugo, A.E.; Mastroantonio, L. 1999. Institute of Tropical Forestry: the first fifty years. Gen. Tech. Rep. IITF-GTR-7. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 56 p.

Silver, W.L.; Lugo, A.E.; Keller, M. 1999. Soil oxygen availability and biogeochemistry along rainfall and topographic gradients in upland wet tropical forest soils. *Biogeochemistry*. 44: 301-328.

Vitousek, P. 1982. Nutrient cycling and nutrient use efficiency. *American Naturalist*. 119: 553-572.

Wadsworth, F.H. 1997. Forest production for tropical America. *Agric. Handb.* 710. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture. 563 p.

HISTORICAL PERSPECTIVE

Carlos M. Domínguez Cristóbal
Historian

This report, which covers the period October 1, 1998 to September 30, 1999, presents the historical perspective—a summary of activities that indicate progress, development, and dissemination of a group of historical and forestry projects taking place both inside and outside of our scientific institution. Our participation in lectures and conferences, as well as our relationships with municipalities and private and governmental agencies have contributed to this progress. It is clear that considering, the past use and tenure of lands as one of the factors that influence the present health of the flora of Puerto Rico, has promoted the theme of historical forestry in a remarkable way.

The celebration of Earth; Puerto Rican and Mathematics and Science Weeks figured, provided opportunities for us to promote and participate in lectures and conferences at several private and public schools. These were as follows:

Luis Muñoz Rivera High School, Utuado
Colegio Bautista de Carolina, Carolina
Colegio de Nuestra Señora del Pilar,
Canóvanas
Carvin School Inc., Carolina
Bonnevill School Inc., Cupey Alto.

The focus was on two main topics: "The forests of Puerto Rico" and "The presence of flora in our history."

Earth Week activities were sponsored by the Department of Agriculture of Puerto Rico. These included a conference on Puerto Rican Forest History held at the Puerto Rican Agronomy College.

The Luis Muñoz Rivera Foundation (Trujillo Alto), in coordination with the Agricultural Extension Service, celebrated with a workshop entitled "My Environment, My Land and I." Our contribution was a presentation on "The Historical Perspective of the Forests of Puerto Rico."

We also participated in anniversary celebrations and annual meetings, as follows:

- Sixth Annual Meeting of the Puerto Rican Historian Association, Turabo University College.
- Sixty-fifth Anniversary of the Agricultural Extension Service, Government Center of Juana Díaz.
- Sixtieth Anniversary of the International Institute of Tropical Forestry. This included the planting of six native oak trees on the grounds of the Puerto Rico Experimental Extension in Río Piedras, and was done in collaboration with Troop 116 of the Boy Scouts of the municipality of Caguas.

Our relationships with municipalities as well as with the Puerto Rican House of Representatives were conducive to generating significant municipal legislation and legal projects:

- The Morovis Municipal Assembly selected a tree, flower, and municipal bird (ceiba, rosa, and pitirre, respectively) to serve as symbols of its cultural and historical work. Selection of the ceiba as the municipal tree was recognition of its importance in the reforestation plans of Morovis.

— The municipality of Naranjito sponsored the book “El Chango: apuntes históricos del pueblo de Naranjito 1824-1998,” by Silvestre Morales. Its title page gave special recognition to that municipality’s official flower, bird, and tree.

— Our project to encourage the selection of a tree, flower, and municipal bird is proceeding and in different phases at the following municipalities: Culebra, Patillas, Juana Díaz, Sabana Grande, Quebradillas and Las Piedras.

— The municipality of Yabucoa made us part of the evaluation of two resolutions:

- Resolution Number 28 Series 98-99: To recommend that the Governor of Puerto Rico and the Natural Resources and Environmental Department establish policy to declare as nature reserve certain areas of special planification in the Sierra de Pandura-Guardarraya System and in the mangroves and areas of Punta Guayanes of Yabucoa, and to supply necessary funding from the Treasury of the State.

- Resolution Number 30 Series 98-99: To recommend that the Natural Resources and Environmental Department make known the stage of special land management plans in the jurisdiction of Yabucoa, and integrate those plans into the [ordenation land plan stage in advance and for other purposes].

We have provided advice and assistance to the following individuals working on forest history-related projects:

— Angel Luis Santiago Pérez, student, Naranjito High School; subject: “Land use and tenure in Naranjito for the year 1950 and the present stage of its flora.”

— Laura Fernández, student, Center for Advanced Studies on Puerto Rico and the Caribbean; subject: “*Sabal causiarum* in the historical perspective of Puerto Rico.”

— Nilda González, agronomist, Agricultural Extension Service, Canóvanas; subject: “Trees for urban reforestation” (poster).

— Eugenio Fernández, architect; subject: The development of the surrounding green areas of Villalba-Orocovis Mirador with trees that have symbolic, cultural or historical significance in these towns.”

Historical forestry investigations resulted in publication of the following articles:

— “Reseña histórica del Bosque de Maricao Afuera durante los años de la dominación española de Puerto Rico”, Acta Científica (Magazine of the Puerto Rican Science Teachers Association).

— “Panorama histórico de la presencia de la flora en las plazas públicas de los pueblos de Puerto Rico” (Magazine ICONOS, Humacao University College, UPR).

Three more articles and a book are “in press”: more to end of list-next page.

— “El inventario de los bosques públicos de Puerto Rico,” Acta Científica.

— “El Jardín Botánico de Puerto Rico 1852-1949,” from the XVII Puerto Rico and the Caribbean Flower and Fauna Symposium, Humacao University College, University of Puerto Rico.

- “Efectos de los cambios poblacionales y la reorientación de la economía en la situación forestal de Puerto Rico durante el Siglo XIX,” Exégesis (Humacao University College, University of Puerto Rico).

Among the projects on which I made progress were the following:

- Use and land tenure of the San Cristóbal Canyon (being done in cooperation with the Puerto Rican Conservation Trust).
- Forestry toponymy (origins of the names of towns and wards in Puerto Rico).
- Designation of municipal symbols: trees, flowers and birds.
- Presence of flora on the municipal shields of Puerto Rico.
- Flora (trees and shrubs) seen in the public squares of Puerto Rico (slides). This year we covered the following towns: Barranquitas, Comerío, Cidra, Aguas Buenas, Cayey, Juana Díaz, Villalba, Santa Isabel and Coamo.
- Historical trees of Puerto Rico (documentation and slides). This year we worked in Quebradillas (ceiba), Orocovis (mango), Lares (tamarindo), and Toa Alta (bala de cañón). In the last two towns the trees are located in the public squares. All these trees have political significance in the local history of the towns and throughout Puerto Rico.
- Forest legislation in Puerto Rico during the tenure of the “Cámara de Delegados” (1900-1917). We evaluated 87 boxes of documents from the General Archives of Puerto Rico and photocopied those

considered most important. Eventually, these documents will be in our library. Notable was a preliminary analysis of forest legislation presented by the Puerto Rican Union Party that led to the eventual proposal of the Forest Law of November 22, 1917.

- History of the tenure and use of the Caribbean National Forest in the ward of Sabana, Luquillo. To date, 20 boxes of related historical documents from the General Archives have been evaluated.
- Presence of flora in Puerto Rican festivals. (compiling news information).
- Index of the forest legislation of Puerto Rico from 1900-1950 (being compiled in collaboration with the Graduate School of Law, Río Piedras Campus, University of Puerto Rico).
- Relationships between roots in a biomass project with some species of mahogany. The field work (including photographs) has been finalized; the next step is a statistical analysis of the field data, then preparation and processing of samples for chemical analysis.
- References to flora in the municipal hymns of Puerto Rico (being studied).

Two new cooperative projects have begun: “A history of the tenure and land use of the forest lands of the Carite State Forest” and “The Carite State Forest and the hydrological basin that surrounds it” (both to be carried out in collaboration with Humacao University College, UPR).

Our cooperative work with Pablo Colón Berdecía High School of Barranquitas and Luis Muñoz Rivera High School of Utuado was

renewed at the beginning of calendar year 1999-2000. The research is focused on a study and evaluation of the effects of Hurricane Georges (September 21, 1998). Also, a new high school, was added to the team. Juan Ponce de León High School of Florida, PR. We are presently working at a hay-stack hill located about 2 k from the school.

Finally, we collaborated with the Health and Human Resources Department, Food and Drug Administration, San Juan District, in activities celebrating Hispanic Month. My contribution was a presentation to the exposition-conference on "The paper package in the commercial sale of coffee in Puerto Rico".

RESTORATION OF ATLANTIC FORESTS IN SÃO PAULO STATE

John A. Parrotta

Forest Management and Rehabilitation Research

and

Vera Lex Engel

Forest Sciences Department

State University of São Paulo-FCA, Botucatu, SP, Brazil

The forest formation known as "Mata Atlântica" in Brazil is one of the world's most important centers of tropical biodiversity and one of the most threatened by deforestation, fragmentation, and degradation. Outside of protected conservation units, most of the remaining Atlantic forest areas are under constant threat from fire and other human pressures. There is increasing public recognition of the importance of forest conservation and forest restoration in São Paulo State and, due to recent changes in environmental policies and legislation, expanding opportunities to implement creative strategies for rehabilitating degraded lands for multiple socioeconomic and environmental benefits. For forest rehabilitation to be effective and applicable in the agricultural landscape of this region, research needs to consider the political, economic, and social realities of the region, and to develop strategies for reforestation and ecosystem restoration that are inexpensive and provide some level of direct economic return to landholders.

The objective of this 10-year collaborative research program is to evaluate the ecological, economic, and social viability of several plantation designs for restoring seasonal, semideciduous Atlantic forests under different site conditions (variable soil fertility and landscape floristic patterns) and management regimes. Experimental plantations involving different mixtures of native forest species were established in 1997-98 at three contrasting degraded sites at Botucatu-SP. At each site, a total of 4 ha of experimental plantations have

been established that include three replicates of the following five treatments:

- (1) control (degraded pasture);
- (2) direct seeding with five early successional tree species (useful primarily for fuel);
- (3) modified taungya (agroforestry) system involving mixed line plantings of 11 fast-growing fuelwood species and 10 slower-growing timber species, interplanted with annual crops during the first 2 to 4 years;
- (4) a mixture of 10 fast-growing multiple-purpose species and 13 slower-growing commercial species; and
- (5) "restoration plantings" including 36 native overstory and understory species representative of the ecological/silvicultural groups found in local forest remnants.

During the course of the study, the following parameters will be monitored to assess treatment and site effects:

- (1) growth and yield of planted species;
- (2) changes in soil physical and chemical properties;
- (3) nutrient cycling and soil mesofauna development;
- (4) wildlife utilization of plantations and native forest seed dispersal;
- (5) seed rain, soil seed banks, and natural regeneration by forest species that colonize plantations from nearby forest fragments; and
- (6) economic costs and benefits of the rehabilitation "models."

To date, this project has yielded data on the survival and early growth of 45 native Atlantic forest species, the majority of which have not been tested previously in field trials; baseline data on soil physical and chemical properties, and on soil biological processes such as microbial biomass, soil respiration, and nitrogen mineralization in experimental treatments and in nearby late secondary forest fragments; and cost-benefit analyses for the modified taungya (agroforestry) treatments based on the first 2 years of production (four cropping cycles).

These experiments are being carried out in collaboration with faculty members and students of the Forest Science Departments of the State University of São Paulo (UNESP) at Botucatu and the University of São Paulo-ESALQ at Piracicaba. The experimental sites also serve as demonstration areas with support from UNESP and local private- and public-sector educational and conservation foundations.

International Conference on Tropical Restoration for the New Millennium May 23-28, 1999, San Juan, Puerto Rico

The conference, held in conjunction with the 4th Annual Puerto Rico Forestry Conference, was organized by the International Institute of Tropical Forestry (IITF) (USDA Forest Service) and the University of Puerto Rico in conjunction with the International Union of Forestry Research Organizations (IUFRO) and the Society for Ecological Restoration. It brought together research scientists, restoration practitioners, educators, and students, as well as public- and private-sector land managers from a wide diversity of backgrounds and perspectives to discuss the current status of tropical forest rehabilitation and restoration research and practice worldwide. The meeting, which included plenary, technical, and poster sessions with 75 presentations on a variety of topics, was attended by over 150 participants from 25

countries in North and South America, the Caribbean, Europe, Africa, Asia, and Australia. The keynote address, entitled "The Restoration of Research," was presented by IUFRO President Jeffery Burley. Plenary speakers included, among others, Dan Janzen, Joseph Wunderle, David Lamb, and Jean C.L. Dubois. Technical sessions covered a broad range of topics related to the ecology of tropical forest succession and its implications for restoration; mangrove ecosystem restoration; the role of wildlife and belowground processes in tropical forest regeneration; social and economic issues, opportunities, and constraints; urban forest ecosystem management; and the role of individual landholders and communities in tropical landscape rehabilitation. Field trips covering the major lowland, upland, and wetland forest ecosystems in Puerto Rico focused on the impact of land-use changes, management practices, and conservation/restoration initiatives affecting their current ecological status and societal value.

Other Forest Rehabilitation and Restoration Activities

The results of a 10-year study of productivity, nutrient cycling, and biodiversity development in single- and mixed-species plantations established on a degraded coastal site in Puerto Rico (Toa Baja) were completed during the year (Parrotta 1999). Forest restoration studies at the Trombetas bauxite mine in Pará State (Brazil) were completed, and a comparative ecological analysis of a variety of reforestation techniques tested at this site was published (Parrotta and Knowles 1999).

Literature Cited

- Parrotta, J.A. 1999. Productivity, nutrient cycling and succession in single- and mixed-species plantations of *Casuarina equisetifolia*, *Eucalyptus robusta* and *Leucaena leucocephala* in Puerto Rico. *Forest Ecology and Management*. 124: 45-77.

Parrotta, J.A., comp. 1999. Tropical restoration for the new millennium: 4th annual Puerto Rico forestry conference; 1999 May 23-28; San Juan, PR. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 139 p. [abstracts].

Parrotta, J.A.; Knowles, O.H. 1999. Restoring tropical moist forests on bauxite mined lands in the Brazilian Amazon: a comparative analysis of afforestation techniques. *Restoration Ecology*. 7(3): 103-116.

Presentations and Seminars

"Restoring tropical forests on bauxite mined lands: lessons from the Brazilian Amazon." Keynote presentation, International Symposium on Ecology of Post-Mining Landscapes, Cottbus, Germany, 15-19 March 1999.

"Restoration of Atlantic forests on degraded sites in São Paulo State, Brazil." Paper presented by co-author V.L. Engel at a conference on *Tropical Restoration for the New Millennium*, San Juan PR, 23-28 May 1999.

"Ecological Restoration of Bauxite Mined Lands in the Brazilian Amazon: Mineração Río do Norte (MRN), Trombetas, Pará." *World Bank, East Asia Environment Sector Unit, Ecological Restoration Workshop*, Washington, DC, 10 June 1999.

"Restauração x Recuperação: tendências e perspectivas mundias." Keynote presentation (invited) by co-author V.L. Engel at *I Simpósio Brasileiro sobre Restauração Ecológica de Ecossistemas Naturais*, Piracicaba, SP, Brazil, 14-17 June 1999.

SPECIAL STUDIES

Frank H. Wadsworth
Research Forester

The quarterly, bilingual newsletter of the International Society of Tropical Foresters, *ISTF News*, continued through the year. It is sent to about 1,500 subscribing members throughout the world, including 83 tropical countries. The letter is processed by the Society of American Foresters in Washington, D.C. Editing at IITF consisted of perusal of worldwide technical literature and the selection and extraction of pertinent text for a broad audience composed of both those who oppose forest manipulation and those who do it. During fiscal 1999, 95 documents, two editorials, and one book review were generated.

Proposals were offered for the intensification of management and use of the Mankoté mangrove on the island of St. Lucia. The largest mangrove on the island, Mankoté has been and still is used for charcoal production. During two visits, plans were perfected to inventory the mangrove to make it possible to relate the level of use to replacement, to assure sustainability. Also, studies of partial harvesting from stumps were undertaken in an attempt to reduce mortality following complete harvesting. To improve income from the yield, a shift in method was tested: instead of using the entire production for charcoal, as many straight poles as possible were sold for scaffolding with only the remainder used for charcoal. Test results were positive; a good pole market was found and the best stems are no longer converted into charcoal. The community aspects of this program are vital and, although complex, are expected to be strengthened with the larger income from the poles. IITF assistance is offered through the Caribbean Natural Resources Institute (CANARI), with headquarters in St. Lucia.

At the invitation of the Forestry Administration of Honduras (COHDEFOR), with Cooperation from CIDA Canada, Wadsworth participated in a conference focused on the contribution of broadleaf forests to the sustainable development of Honduras. The occasion was the general recognition that the forest future of Honduras does not depend predominantly on its coniferous trees. The occasion presented an opportunity to review rational land use and what has been learned in the Western Hemisphere about management and improvement of the productivity of broadleaf forests.

The USDA Forest Service has supported, through the Tropical Forest Foundation (TFF), an excellent comparison of reduced impact logging with conventional logging in eastern Brazil. It is the locale for an IITF experiment on post-logging tree liberation. An outgrowth of this program has been much training of loggers in Brazil. TFF received an expression of interest in such training from Guyana; TFF was interested but needed financing and requested assistance from the USDA Forest Service. The initial response was an assignment: IITF was to explore the environment in Guyana for applying such techniques if training were offered. Of particular concern was the degree of interest on the part of the government, which ought to encourage improved practices once local workers were trained. Contacts with the Guyana Forestry Commission, the Forest Products Association, and the British and Dutch assistance agencies led to the conclusion that not only was the government of Guyana supportive, but that interest was high within the country as well. It also appeared that the candidates who would actually receive and use the training were the woods foremen, in contrast to

college graduates, and they could be recruited during the rainy season when it was too wet to log in Guyana but not in Brazil.

Followup from a meeting of the Silvicultural Study Group of the Food and Agriculture Organization, North American Forestry Commission led to an IITF grant through Iowa State University for a forest research workshop in Quintana Roo, México. IITF participation was a projection of long-term research involvement with mahogany.

Participants represented many institutions within the region. Overall emphasis was on using the "éjidos" as sources of research in their benefit. It was pointed out that the young people are beginning to leave the "éjidos" and the potential for employment of the many species other than mahogany and cedar, which are now scarce, is not sufficiently known. Social considerations were recognized by a subgroup of social scientists. Another group explored the possibilities of restoration of degraded lands and of agroforestry prospects. There was also a silviculture group, dealing with, among other things, the restoration of mahogany. Representatives of each group formed a committee to

formalize the organization and prioritize the various proposed lines of research. A later meeting was projected to divide responsibilities. An encouraging sign was the degree of "éjido" cooperation that Patricia Negreros, the leader, had been able to generate in her testing of reforestation of abandoned milpas. IITF has been the sponsor of this activity and may well continue in an advisory role.

Late in the year IITF accepted an assignment from the Food and Agriculture Organization to update the world forest assessment (FRA 2000) for the Caribbean region. The task consists of obtaining from each island and country the best available information about the area and the characteristics of its forest cover.

Two local studies of international applicability were analyzed and prepared for final statistical review. One relates the occurrence and 24-year growth of 18 species of rain forest trees to their immediate environment, including topography, aspect, slope, and forest density. The other predicts the growth rate of plantation trees of *Pinus caribaea hondurensis* on clay and sandy soils relative to initial diameter and the average space available to the trees.

RESEARCH IN PUERTO RICO'S NATURAL FORESTS

Peter L. Weaver
Research Forester

Dwarf Forest Monitoring

Stratified sampling by topography in the dwarf forest of the Luquillo Experimental Forest indicated that many common tree species showed topographic preferences, favoring either ravines or slopes and ridges (Weaver 1999). Delayed posthurricane mortality (after 1.3 and 6.3 years) on permanent plots established after the passage of Hurricane Hugo in September 1989 reduced the number of stems on Pico del Este by 21 percent, most notably affecting the smallest diameter and height classes on ridges. Mortality varied by species, with the palm *Prestoea montana* (R. Graham) Nichols showing the best survival and the tree *Clusia clusioides* (Griseb.) D'Arcy the poorest. Regression of epiphytic biomass expressed as a function of bole d.b.h. or crown class did not correlate as well in posthurricane conditions as they did in prehurricane conditions. Although total litterfall was virtually the same, the leafy fraction declined and the woody fraction increased. Tree mortality decreased aboveground biomass after the storm. Total aboveground net primary productivity sampled from 1.3 to 2.3 years after Hugo was 20 percent greater than before the storm when a 5-year estimate of average coarse debris from 1.3 to 6.3 years posthurricane was added.

Las Cabezas de San Juan Nature Reserve

The 178-ha northeastern tip of Puerto Rico, which is known locally as "Las Cabezas de San Juan Nature Reserve," is managed by the Puerto Rican Conservation Trust to protect the area's scenic beauty and to provide environmental education and research opportunities to the island's residents and visitors (Weaver and others 1999a

and 1999b). The highest point on the terrain is occupied by a lighthouse (El Faro). Constructed in 1880, El Faro provides a scenic panorama of the northeastern coast, offshore islands, and the Luquillo Mountains. The current state of knowledge regarding the environment, i.e., geology, physiography, soils, climate, flora, fauna, and past human influence, is summarized as general information for the public and as a basis for further research. New information on plant species and their occurrence and relative abundance is also provided. The Reserve has at least 355 plant species and 96 bird species. Continued protection will provide ample opportunity to expand educational resources on the Reserve to increase scientific knowledge of its terrestrial and aquatic resources.

Literature Cited

- Weaver, P.L. 1999. Impacts of Hurricane Hugo on the dwarf cloud forest of Puerto Rico's Luquillo Mountains. *Caribbean Journal of Science*. 35(1-2): 101-111.
- Weaver, P.L.; Medina, R.M.; Coll Rivera, J.L. 1999a. Las Cabezas de San Juan Reserve: a natural treasure in northeastern Puerto Rico. Gen. Tech. Rep.-IITF-6. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 27 p.
- Weaver, P.L.; Ramírez, J.L.; Coll Rivera, J.L. 1999b. Las Cabezas de San Juan Nature Reserve (El Faro). Gen. Tech. Rep.-IITF-5. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 58 p.

WILDLIFE RESEARCH

Joseph M. Wunderle, Jr.
Research Wildlife Biologist

During FY1998-99 we continued three studies, supported cooperative studies, and published the results of earlier wildlife investigations. These activities are summarized below:

Current Field Projects

1. Effects of low-impact logging on birds and bats in the forest understory of the Tapajós National Forest

Continental tropical forests are characterized by a high diversity of species, most of which are rare. Nowhere is this more evident than in the Amazon forests of Brazil, where our current collaborative studies with researchers from the Goeldi Museum and Dr. Michael Willig of Texas Tech University are helping to characterize the understory bird and bat assemblages in the Tapajós National Forest near Santarem. Our collaborative studies based on mist netting enable us to describe and characterize the avian and bat diversity in the forest understory and, more importantly, serve as a control for examining the effects of low-impact logging on these components of the fauna. Such studies are beneficial for devising tropical logging and silvicultural methods that minimize biodiversity loss and insure that animal seed dispersers remain on managed sites to provide adequate seed dissemination.

Our Brazilian collaborator, Magalli Henriques, sampled birds with mist nets over the past 23 months, banding 1,612 individuals of 115 species in two 100 ha control blocks of undisturbed terra firma forest in the Tapajós National Forest. This sample represents

89 percent of the 129 species known from net samples in these two blocks plus one undisturbed block and two logged blocks; and 48 percent of the 267 species detected at this site by Henriques.

The rate of bird species accumulation was highest in control block 1 (fig. 1), which contained a portion of old, second-growth forest, in contrast to control block 3, which consisted only of mature forest. Depending on the block, the rate of species accumulation was highest in the first 400 to 500 individuals captured. Overall, for the two blocks, the cumulative number of species reached an asymptote of approximately 110 species. Using jackknife procedures involving sampling without replacement from these net data, we estimate that approximately 150 bird species occur in the understory of the Tapajós terra firma. However, most of these species are rare; Henriques found that of the 115 species captured, 20 percent were represented by only one individual. Using a commonly accepted definition of rarity (≤ 2 percent of the sample), Henriques found that 90 percent (104) of the 115 species in the two blocks were rare.

The rarity and diversity of the fauna, as shown here, illustrates a challenge faced by forest managers concerned with maintaining biodiversity in timber production forests of the Amazon. Although our bat studies are in the early stages, preliminary results again indicate high diversity in the Tapajós forest understory. Our ongoing Amazon research now focuses on the effects of low-impact logging, in an effort to devise ameliorative management strategies that will maintain wildlife diversity in tropical forests.

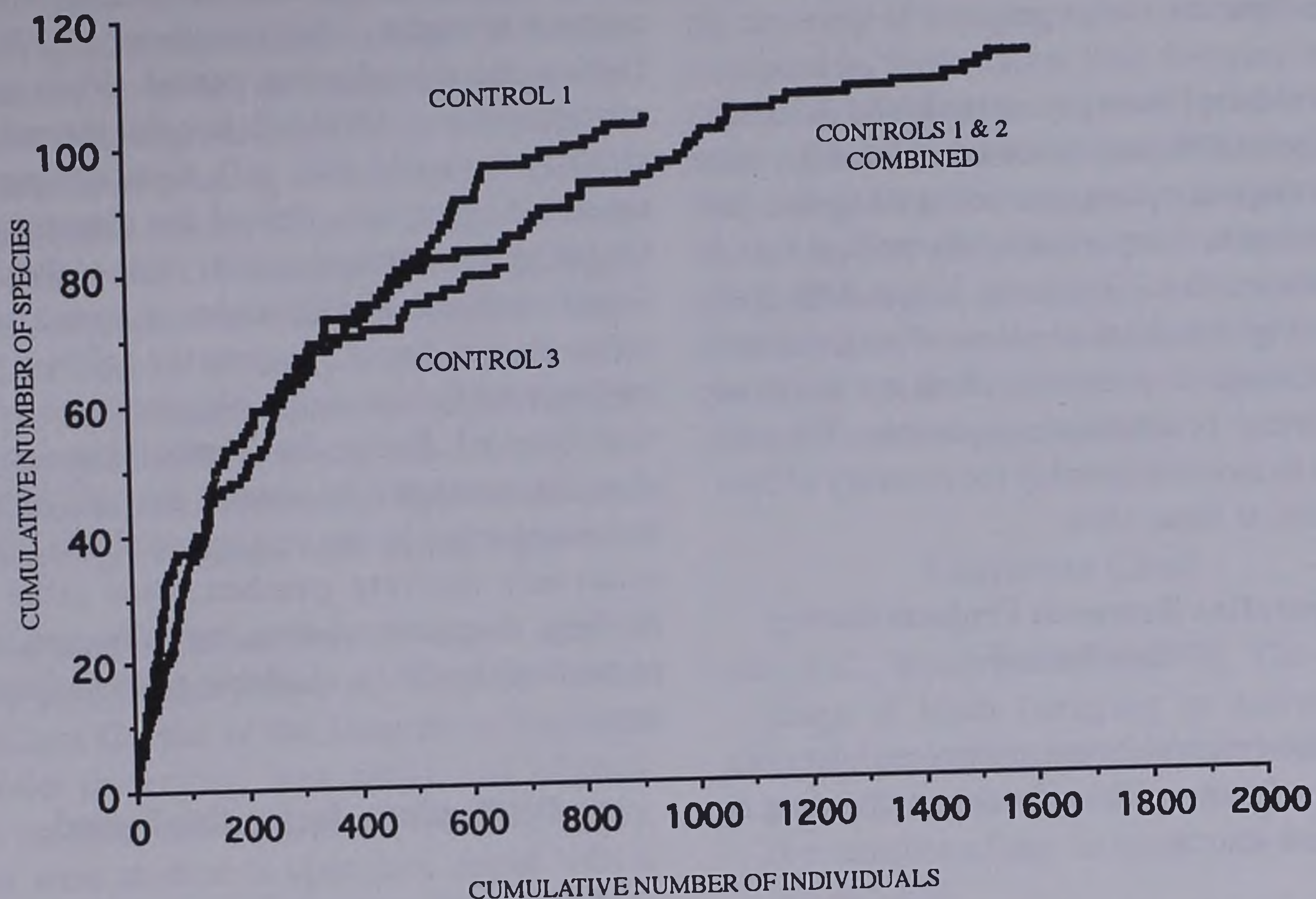


Figure 1. —Cumulative number of bird species with cumulative number of individual birds captured in mist nets in two control blocks in terra firma forest, km 83, in the Tapajós National Forest, Santarem, Brazil. (Data gathered by Magalli Henriques, Museum Goeldi, Belém, Brazil.)

2. Movements, home range, and habitat use by the Puerto Rican Boa in the Luquillo Experimental Forest

We are now in the third year of a study of the endangered Puerto Rican Boa (*Epicrates inornatus*), based on surgically implanted radio transmitters that enable us to use radio telemetry to locate and follow snakes in the Luquillo Experimental Forest. The locations of the radio-tagged snakes disclosed by telemetry are mapped by the use of Global Positioning System, which enables us to quantify movements and determines the size of a boa's home range. The passage of Hurricane Georges in September 1998 appeared to have little or no effect on the five radio-tagged boas we were

following at the time. Field work will continue for at least another year to further document the natural history and movements of these snakes.

3. Phenology of some common fruits consumed by the Puerto Rican Parrot

We are now in the third year of a phenology study designed to monitor fruit production of the more common tree and vine species in the Palo Colorado forest of the LEF. The study involves monthly sampling of marked plants along trails at Caimitillo (10 species, 122 individuals originally) and Palo Hueco (11 species, 144 individuals originally). The study is designed to characterize variation in fruit production to help us understand the behavior

of the Puerto Rican Parrot and identify the most favorable time periods for releasing aviary-produced parrots.

Hurricane Georges struck the LEF in September 1998, just as we completed 2 years of phenology sampling, providing a baseline for post-hurricane comparisons. As we had found in the aftermath of Hurricane Hugo, little fruit remained on the marked plants after the storm and phenological patterns shifted out of phase from normal prehurricane patterns. We will continue to monitor monthly the recovery of fruit production at these sites.

Cooperative Research Projects during this Period

1. Movements, home range, and feeding behavior of Puerto Rican Boas congregating at a rich food source

Boas of the genus *Epicrates* are known to congregate around cave entrances, where they feed on bats moving to and from their roost sites. Such behavior is found in the endangered Puerto Rican Boa, which was studied by Alberto R. Puente-Rolón (1999), a graduate student working on his master's thesis under the direction of Dr. Fernando Bird-Picó, University of Puerto Rico, Mayagüez, and partially funded by IITF-wildlife. Puente-Rolón studied the snakes at "Cuevas de los Culebrones," located in the Mata de Plátano Reserve located 7 km southwest of Arecibo, Puerto Rico.

Puente-Rolón (1999) found that the snakes were captured at the cave entrance from 1745 to 0600 h, but most frequently between 1900 and 2400 h. The average handling time for a snake that captured a bat at the entrance was 12.5 min. Average home range for six females fitted with radio transmitters was 7,800 m², whereas the average home range for five males was 5,000 m² using the minimum convex

polygon method. During the non-reproductive period, females used an area of 22,119 m² in contrast to males, which used only 1,326 m². During the reproductive period, when males moved widely (18,500 m²), females moved only slightly less (16,940 m²) than during the nonbreeding period. Ten of the eleven radio-tagged snakes returned at least twice to the cave. Significant sexual differences in home range were absent for *E. inornatus*, although a tendency for females to have bigger home ranges was observed. Puente-Rolón recommended that sites be managed to ensure that all habitat features needed by the boa are available within relatively discrete patches; thus sites for feeding, thermoregulation, reproduction, and protection should be available within a limited area.

Publications during this Period

As part of our studies on the role of traditional shade coffee plantations as potential refugia for forest-dwelling birds in deforested or degraded landscapes in the Tropics, we published a paper on avian habitat use in shade plantations (Wunderle 1999). In this study, residents and wintering Nearctic migrant birds were sampled by point counts in 40 small to medium-sized (0.07 to 8.65 ha) shade coffee plantations with an overstory of *Inga vera* in the Cordillera Central, Dominican Republic. The purpose of the study was to determine the relative importance of plantation area, isolation, and habitat structure to avian distribution and abundance. Variation in abundance was unrelated to plantation area in seven migrant species, but the local abundance of four resident species increased significantly with area. Elevation was the only variable that contributed significantly to the total number of species per plantation (fewer species at higher elevation) and no habitat variables contributed significantly to variation in the total number of migrant species. In contrast, the total number

of resident species was significantly correlated with several variables: higher numbers of resident species were found in larger and older plantations at lower elevations, and also in plantations having numerous stems >3 cm d.b.h., with little or no pruning of overstory branches, and maximum canopy cover at 12.0 to 15.0 m. From these results, Wunderle (1999) concluded that coffee plantations with high levels of structural and floristic diversity should be encouraged for avian conservation, and that even the smallest plantations, if not too isolated by treeless areas, can contribute to avian abundance and diversity in tropical agricultural regions.

We studied avian food resource use in native pine forests (*Pinus occidentalis*) in the Cordillera Central of the Dominican Republic to better understand how native and migrant birds use pine forests (Latta and Wunderle 1998). Birds were studied in open pine forest with a moderately open canopy and a dense, mixed-broadleaf and pine understory. A principal components analysis of 23 foraging characters was used for 23 bird species; it included foraging height, proportional use of five different foraging methods, three horizontal positions and foliage densities, and 11 foraging substrates. Five principal components accounted for 74 percent of the total variance of the assemblage variables, resulting in the delineation of at least five foraging guilds, seventy eight percent of the bird species had mean foraging heights of 5.0 to

10.0 m, corresponding to the region of overlap of pine and broadleaf vegetation. As a result, the diversity of foraging substrates and maneuvers used by birds, rather than foraging height, appears to be the primary means by which birds that exploit this habitat separate ecologically. Wintering Nearctic migrants (mostly wood warblers, Parulidae) are probably able to integrate into the community because of little diet overlap between residents and migrants, and the fairly specialized nature of their largely insectivorous foraging habitats.

Literature Cited

- Latta, S.C.; Wunderle, J.M. 1998. The assemblage of birds foraging in native West Indian pine (*Pinus occidentalis*) forests of the Dominican Republic during the nonbreeding season. *Biotropica*. 30: 645-656.
- Puente-Rolón, Alberto R. 1999. Movements, home range, and feeding behavior of Puerto Rican Boas congregating at a rich food source. Mayagüez, P.R: University of Puerto Rico. M.S. thesis.
- Wunderle, J.M. 1999. Avian distribution in Dominican shade coffee plantations: area and habitat relationships. *Journal of Field Ornithology*. 70: 58-70.

SOIL DISTURBANCE BY UPROOTED TREES FOLLOWING HURRICANE GEORGES

*Melanie T. Lenart
University of Arizona*

Although Hurricane Georges was greeted with groans by islanders and researchers wishing to study something besides the effects of hurricanes, its passage through Puerto Rico in September 1998 offered an opportunity for a detailed study of the soil volume disturbed by tree uprooting. The 3-month study was part of an ongoing comparative research project between IITF, the U.S. Geological Survey, and the University of Arizona. This project considers soil disturbance from uprooting in tropical forests in Puerto Rico, and temperate forests in Colorado. This research is being done in cooperation with Waite Osterkamp of the U.S. Geological Survey, F.N. Scatena of IITF, and R.J. Segal of Tucson, Arizona.

From the hurricane's passage on September 21-22, 1998, through mid-December of that year, we measured the volume of soil disturbed by 238 freshly uprooted trees in a variety of locations around Puerto Rico. Some of these were in roadside stands, but the majority were located in one of the 45 quadrats (500 m² each) in urban and rural forests, including Bisley and several state forests in the island's interior. Sites were generally within a 1-km radius of airports, military bases and other sites that measured wind velocity during the storm. Other sites were located along the path of the eye as it crossed the island.

Like in the damage studies conducted following Hurricane Hugo (Francis and Gillespie 1993), we found the frequency of uprooting to be quite variable once a threshold was reached. All of our sites had sustained winds between 125 km per hour and 184 km per hour (Bennett and Mojica 1998), exceeding the 121

km per hour damage threshold reported by Francis and Gillespie 1993. The proportion of uproots varied from 50 percent in a Cayey lowland valley (four of eight large trees in a teak stand) to 0 percent in Adjuntas, Patillas, and Ponce. The proportion of snapped trees varied from 1.6 percent in an Adjuntas quadrat, where 15.6 percent of trees were uprooted, to 75 percent in a Caguas lowland valley, where 3.6 percent of trees were uprooted. The largest percentage of snapped trees occurred in the Caguas valley stand, where 75 percent and 67.6 to 75 percent of the trees snapped while only 2.9 to 3.6 percent and 2.9 percent were uprooted. In all, an average of 10.4 percent of trees were uprooted in the 18 quadrats assessed in the island's interior, compared to an average of 24.8 percent of trees snapped. For all 45 quadrats around the island, the mean proportion of uproots was 7.0 percent while the mean proportion of snaps was 20.5 percent. The effects of wind velocity on tree damage were probably obscured by gusts and microbursts created by pockets of turbulence and the influence of local topography. Species differences were also noted.

The amount of soil disturbance on the sites correlated well with the proportion of basal area uprooted, as had been suggested by Everham (1994) and reported for a variety of forests, including the Luquillo Experimental Forest. Following this line of thinking, we compared basal area damaged to soil volume disturbed, using the 45 quadrats from Puerto Rico. The linear regression between the volume of soil disturbance and the percentage of basal area uprooted explained 74 percent of the variability ($r^2 = 0.743$). Correlation analysis also suggests

that a few uproots in a less-dense stand can disturb as much soil as a greater number of uproots in a dense stand. Moreover, tree roots will expand into the available area in less competitive stands of a closed forest system. While not surprising, this suggestion is an interesting inference about the behavior of an important component of ecological systems that is difficult to study because of its hidden nature.

In addition to indicating the variability of uprooting patterns, the information gathered in this effort contributed to form an extensive data base on individual uproots. For each uprooted tree, the following measurements were taken: diameter, height, slope of tree and ground, aspect and treefall direction, decay class (1 to 5), type of tree (conifer, broadleaf, palm, or fern; species if known), dominant grain size of soil (clay, loam, sand or a combination), topography (ridge, slope, valley), basal area of surrounding forest (using a relascope all of the time and stand d.b.h. measurements some of the time), volume of "rootball" (uplifted soil plus roots and clasts, if any), percentage of roots and clasts in rootball, and pit volume.

A preliminary analysis using Pearson Correlation Coefficients indicates that about 64 percent of the variability in rootball volume can be explained by the volume of the associated trees ($r^2 = 0.644$). Tree volume, however, explains only about 13 percent of the variability in pit size ($r^2 = 0.126$). Pit volumes generally were smaller than rootball volumes, possibly indicating soil expansion that resulted from the removal of the weight of the tree(s). Alternatively, many pits were indistinguishable from the surrounding slope, particularly when trees fell upslope or perpendicular to slope. Ground slope explained about 11.5 percent of the variability of rootball volume when rootballs were considered as a whole, and 25 percent when individual trees were assigned a proportion of a shared rootball. When trees falling in groups of two or more and conifers, palms, and ferns are excluded

from the analysis, leaving only broadleaf trees falling alone, tree volume explained 72 percent of the variance in rootball volume.

In addition, we compared rootball volume information for 20 uproots measured in the weeks following the 1989 passage of Hurricane Hugo to 20 trees in the same area measured in the fall of 1998, approximately 9 years after the event. Although the initial trees were not tagged, many of the resurveyed trees were measured in the initial survey. These measurements suggest that overall rootball volume has decreased by about 68 percent (70.9 m^3 of 104.7 m^3) in the 110 months between measurements. Some of the missing soil certainly has remained at the site, as topographic mounds had formed under the area of exposed roots of several of the trees measured in 1998. In some cases, some of the soil may have settled into the pit region, depending on the slope of the surrounding topography and the angle and direction of treefall. We have no way of determining how much of the soil may have fallen into the pits because no initial pit measurements were taken; however, as mentioned above, the pits formed on steep slopes often blend into the hillside without forming recognizable depressions. Detailed measurements of 10 freshly uprooted trees in the Sabana area have been taken and will be compared to another set of detailed measurements taken for the same trees a year after the hurricane. Also, the pits of these trees were lined with plastic in hopes of capturing some soil that will help us estimate the amount of soil that falls from the rootball into the pit in a year.

A similar technique involving a detailed comparison of fresh uproots is being undertaken in a temperate conifer forest in Westcliffe, Colorado. In addition, tree-ring analysis will be used to date some of the fallen uproots in Westcliffe, which should yield some insight on the decay rate of the rootballs and how it relates to the trees' decay rate. In addition, we have collected data from 10 quadrats in a disturbed portion of

the Routt Forest near Steamboat Springs, Colorado. Measurements were taken in early September of 1998, 8 months after an unusual windthrow event involving chinook winds.

Analysis and research continues regarding the Colorado sites and how uprooting processes at these sites compare to uprooting processes occurring in Puerto Rico.

Literature Cited

Bennett, S.P.; Mojica, R. 1998. Hurricane Georges preliminary storm report. San Juan, Puerto Rico: National Weather Service, Weather Forecast Office.

Everham, E.M. III. 1994. A comparison of methods for quantifying catastrophic wind damage to forests. In: Coutts, M.P.; Grace, J., eds. *Wind and Trees*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.

Francis, J.K.; Gillespie, J.R. 1993. Relating gust speed to tree damage in Hurricane Hugo. 1989. *Journal of Arboriculture*. 19(6): 368-373.

WATERSHED RESEARCH

Fred N. Scatena
Hydrologist

The 1999 annual letter year was characterized by a large field effort designed to monitor the response and recovery of the Bisley watersheds and greater Mameyes watersheds following the passage of Hurricane Georges in 1999. The year also marked the 10th anniversary of Hurricane Hugo and included extensive remeasurements of the Bisley vegetation plots. In addition, the proposal for the third Long-Term Ecological Research project funding cycle was organized, cooperative research with numerous universities was continued, and Coqui removal studies by Karen Beard of Yale University were initiated. We are pleased to report also that the important monograph on soil oxygen availability and biogeochemistry of Bisley and the Luquillo Experimental Forest was published (Silver and others 1999), as well as a study on the effect of land use on soil erosion in the Guadiana watershed of north Central Puerto Rico. (Mar López and others 1998).

The 1999 year marked the publication of several articles on the aquatic ecology of Luquillo (Benstead and others 1999) and Caribbean streams (Pringle and Scatena 1999a, 1999b). The second year of detailed water-quality sampling in the Lower Río Mameyes was also completed and the data are being analyzed. This cooperative research project is being done in cooperation with the University of New Hampshire and is focused on determining the impacts and mitigation strategies associated with water extractions. As part of this effort, a list of selected references on tropical stream and instream flow methods has been compiled (copy attached). A masters thesis on the prediction of peak discharge, recession analysis, and stream flow response to rainfall was completed at the University of Connecticut by Héctor David

Rivera-Ramírez (Rivera-Ramírez 1999). A doctoral dissertation on the controls of spatial and temporal variability in nitrous oxide fluxes across a riparian catena in the Icacos watershed was completed by Claire P. McSwiney at the University of New Hampshire (McSwiney 1999).

Literature Cited

- Benstead, P.J.; March, J.G.; Pringle, C.M.; Scatena, F.N. 1999. Effects of a low-head dam and water abstraction on migratory tropical stream biota. *Ecological Applications*. 9(2):656-668.
- Mar López, T.; Aide, T.M.; Scatena, F.N. 1998. The effect of land use on soil erosion in the Guadiana watershed in Puerto Rico. *Caribbean Journal of Science*. 34: 3-4; 298-307.
- McSwiney, C.P. 1999a. Controls on spatial and temporal variability in nitrous oxide fluxes across a tropical rainforest ecosystem in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. Durham, NH: University of New Hampshire. Ph.D. dissertation.
- Pringle, C.M.; Scatena, F.N. 1999a. Aquatic ecosystem deterioration in Latin America and the Caribbean. In: Hatch, L.U.; Swisher, M.E., eds. *Managed ecosystems; the Mesoamerican experience*. Oxford, UK: Oxford University Press: 104-113. chap. 12.
- Pringle, C.M.; Scatena, F.N. 1999b. Freshwater resource development: case studies from Puerto Rico and Costa Rica. In: Hatch, L.U.; Swisher, M.E., eds. *Managed ecosystems. The Mesoamerican experience*. Oxford, UK: Oxford University Press: 114-121. chap. 13.

Rivera-Ramírez, H.D. 1999. Peak discharge prediction, recession analysis, and evaluation of streamflow response to rainfall for watersheds in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. Storrs, CT: University of Connecticut. M.S. thesis.

Silver, W.; Lugo, A.E.; Keller, M. 1999. Soil oxygen availability and biogeochemistry along rainfall and topographic gradients in upland wet tropical forest soils. *Biogeochemistry*. 44:301-328.

List of—selected references on tropical stream and instream flow methods, with special reference to the Caribbean Region (Compiled by S.L. Johnson, Department of Fisheries and Wildlife, Oregon State University, Corvallis, OR; and María M. Rivera, International Institute of Tropical Forestry, USDA Forest Service, Río Piedras, Puerto Rico).

Abele, L.G.; Blum, N. 1977. Ecological aspects of the freshwater decapod crustaceans of the Perlas Archipelago, Panamá. *Biotropica*. 9: 239-252.

Allee, W.C.; Torvik, M. 1927. Factors affecting animal distributions in a small stream of the Panamá rain forest in the dry season. *Journal of Ecology*. 15: 66-71.

Anderson, W.W. 1957. Larval forms of the freshwater mullet (*Agonostomus monticola*) from the open ocean off the Bahamas and South Atlantic coast of the United States. *Bulletin of the U.S. Fish and Wildlife Service. Fisheries*. 57: 415-425.

Angermeier, P.L.; Karr, J.R. 1983. Fish communities along environmental gradients in a system of tropical streams. *Environmental Biology of Fishes*. 9: 117-135.

Arenas, A.D. 1983. Hydrological characteristics of the Caribbean. In: *Hydrology of humid tropical regions: Proceedings of a symposium of the International Union of Geodesy and Geophysics*; Hamburg, West Germany. IAHS Publication 140.

Austin, H.; Austin, S. 1971. The feeding habits of some juvenile marine fishes from the mangroves in western Puerto Rico. *Caribbean Journal of Science*. 11: 171-178.

Bacon, P.R. 1971. Plankton studies in a Caribbean estuarine environment. *Caribbean Journal of Science*. 11: 81-89.

Barnish, G. 1984. The freshwater shrimps of Saint Lucia, West Indies (Decapoda, Natantia). *Crustaceana*. 47: 314-320.

Barthem, R.B.; Ribeiro M.C.L. de B.; Petere, M.J. 1991. Life strategies of some long-distance migratory catfish in relation to hydroelectric dams in the Amazon basin. *Biological Conservation*. 55: 339-345.

- Bates, C.G. 1930. Hurricane damage in Puerto Rican forests. *Journal of Forestry*. 28: 772-774.
- Baumann, R.W. 1982. Plecoptera. In: Hurlbert, S.H.; Villalobos-Figueroa, A., eds. *Aquatic biota of México, Central America and the West Indies*. San Diego, CA: San Diego State University: 278-279.
- Bhajan, W.R.; Canals, M.; Colón, J.A. [and others]. 1978. A limnological survey of the Río Espíritu Santo watershed, Puerto Rico (1976-1977). Report of the Center for Energy and Environmental Research. San Juan, PR: University of Puerto Rico.
- Boeseman, M. 1960. The freshwater fishes of the islands of Trinidad. *Studies on the Fauna of Curacao and other Caribbean Islands*. 10(48): 72-153.
- Boeseman, M. 1964. The freshwater fishes of the islands of Trinidad. Addenda, errata, et corrigenda. *Studies on the fauna of Curacao and other Caribbean Islands*. 20(82): 52-87.
- Bonell, M.; Hufschmidt, M.M.; Gladwell, J.S. 1993. *Hydrology and water management in the humid Tropics*. Cambridge, UK: UNESCO and Cambridge University Press.
- Boon, P.J. 1988. Notes on the distribution and biology of Smicridea (Trichoptera: Hydropsychidae) in Jamaica. *Archiv für Hydrobiologie*. 111: 423-433.
- Boon, P.J.; Jupp, B.P.; Lee, D.G. 1986. The benthic ecology of rivers in the Blue Mountains (Jamaica) prior to construction of a water regulation scheme. *Archiv für Hydrobiologie, Supplementband*. 74: 315-355.
- Botosaneanu, L.; Alkins-Koo, M. [In press]. The caddisflies (Insecta: Trichoptera) of Trinidad, W.I. *Bulletin of the Royal Institute of Natural Sciences, Entomology (Brussels)*.
- Botosaneanu, L.; Sakal, D. 1992. Ecological observations on the caddisflies (Insecta: Trichoptera) from Trinidad and Tobago. *Revue d'Hydrobiologie Tropicale*. 25(3): 197-207.
- Bowen, S.H. 1983. Detritivory in neotropical fish communities. *Environmental Biology of Fishes*. 9: 137-144.
- Briggs, J.C. 1984. Freshwater fishes and biogeography of Central America and the Antilles. *Systematic Zoology*. 33: 428-435.
- Bright, G.R. 1982. Secondary benthic production in a tropical island stream. *Limnology and Oceanography*. 27: 472-480.
- Brinson, M.M. 1976. Organic matter losses from four watersheds in the humid Tropics. *Limnology and Oceanography*. 21: 572-582.
- Bugenyi, F.W.B. 1991. Ecotones in a changing environment: management of adjacent wetlands for fisheries production in the Tropics. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*. 24: 2547-2551.

- Burgess, G.H.; Franz, R. 1989. Zoogeography of the Antillean freshwater fish fauna. In: Woods, C.A., ed. Biogeography of the West Indies: past, present and future. Gainesville, FL: Sandhill Crane Press: 263-305.
- Bussing, W.A. 1966. New species and new records of Costa Rican freshwater fishes with a tentative list of species. *Revista de Biología Tropical*. 14: 205-249.
- Bussing, W.A. 1994. Ecological aspects of the fish community. In: McDade, L.A.; Bawa, K.S.; Hespenheide, H.A.; Hartshorn, G.S., eds. *La Selva: Ecology and natural history of a neotropical rain forest*. Chicago: University of Chicago Press: 195-198.
- Butler, J.M.; Ferguson, F.F.; Palmer, J.R.; Jobin, W.R. 1980. Displacement of a colony of *Biomphalaria glabra* by an invading population of *Tarebia granifera* in a small stream in Puerto Rico. *Caribbean Journal of Science*. 16: 73-79.
- Canals, M. 1979. Some ecological aspects of the biology of *Macrobrachium crenulatum* (Holthuis, 1950) Palaemonidae, Decapoda, in Puerto Rico, including notes on its taxonomy. *Science-Ciencia*. 6: 130-132.
- Chace, F.A.; Hobbs, H.H.J. 1969. The freshwater and terrestrial decapod crustaceans of the West Indies with special reference to Dominica. *Bulletin of the United States National Museum Edition*. Washington, DC: Smithsonian Institution Press. Vol. 292.
- Cham, C.M.; Seda del Toro, R. 1974. A bio-limnological study of the estuarine portion of Cano Corazones, Mayagüez, Puerto Rico. *Caribbean Journal of Science*. 14: 89-107.
- Chanotis, B.; Butler, J.M.J.; Ferguson, F.; Jobin, W. 1980. Bionomics of *Tarebia granifera* (Gastropoda: Thiaridae) in Puerto Rico, an asiatic vector of *Paragonimiasis westermani*. *Caribbean Journal of Science*. 16: 81-90.
- Chapman, L.J.; Kramer, D.L. 1991a. The consequences of flooding for the dispersal and fate of poeciliid fish in an intermittent tropical stream. *Oecología*. 87: 299-306.
- Chapman, L.J.; Kramer, D.L. 1991b. Limnological observations of an intermittent tropical dry forest stream. *Hydrobiología*. 226: 153-166.
- Colón, E.M. 1985. Comparison of hydrology models in a tropical island. *Proceedings of an international symposium on tropical hydrology and 2nd Caribbean Islands Water Resources Congress*; 1985 May 5-8, San Juan, Puerto Rico.
- Constantz, G.D.; Bussing, W.A.; Saul, W.G. 1981. Freshwater fishes of Corcovado National Park, Costa Rica. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*. 133: 15-19.
- Corbet, P.S. 1981. Seasonal incidence of Anisoptera in light-traps in Trinidad, W.I. *Odonatologica*. 10: 179-187.

Couret, C.L.J. 1976. The biology and taxonomy of a freshwater shrimp, *Atya bisulcata* Randall, endemic to the Hawaiian islands. Hawaii: University of Hawaii. M.S. thesis.

Covich, A.P. 1988a. Atyid shrimp in the headwaters of the Luquillo Mountains, Puerto Rico: filter feeding in natural and artificial streams. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*. 23: 2108-2113.

Covich, A.P. 1988b. Geographical and historical comparisons of Neotropical streams: biotic diversity and detrital processing in highly variable habitats. *Journal of the North American Benthological Society*. 7: 361-386.

Covich, A.P.; Cowl, T.A. 1990. Effects of hurricane storm flow on transport of woody debris in a rain forest stream (Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico). In: Proceedings of the international symposium on tropical hydrology and Caribbean water resources, San Juan, PR.

Covich, A.P.; Cowl, T.A.; Johnson, S.L. [and others]. 1991. Post-hurricane Hugo increases in atyid shrimp abundances in a Puerto Rican montane stream. *Biotropica*. 23: 448-454.

Covich, A.P.; Stuiver, M. 1974. Changes in oxygen 18 as a measure of long-term fluctuations in tropical lake levels and molluscan populations. *Limnology and Oceanography*. 19: 682-691.

Cowl, T.A.; Covich, A.P. 1994. Responses of a freshwater shrimp to chemical and tactile stimuli from a large decapod predator. *Journal of the North American Benthological Society*. 13: 291-298.

Cruise, J.F.; Miller, R.L. 1994. Hydrologic modeling of land processes in Puerto Rico using remotely sensed data. *Water Resources Bulletin*. 30: 419-428.

Crutzen, P.J. 1987. Roles of the Tropics in atmospheric chemistry. In: Dickinson, R.E., ed. *The geophysics of Amazonia: vegetation and climate interactions*. New York: John Wiley: 107-132.

Cruz, G.A. 1987. Reproductive biology and feeding habitats of Cuyamel, *Joturus pichardi* and tepemechin, *Agonostomus monticola* (Pisces: Mugilidae) from Río Platano, Mosquitia, Honduras. *Bulletin of Marine Science*. 40: 63-72.

Dietrich, W.E.; Windsor, D.M.; Dunne, T. 1982. Geology, climate and hydrology of Barro Colorado Island. In: Leigh, E.G., Jr.; Rand, A.S.; Windsor, D.M., eds. *Ecology of a tropical forest*. Washington, DC: Smithsonian Institution Press: 21-46.

Donnelly, T.W. 1970. The Odonata of Dominica, British West Indies. *Smithsonian Contribution to Zoology* 37. Washington, DC: Smithsonian Institution Press: [Not paged].

Drake, C.; Maldonado, J. 1954. Puerto Rican water-striders (Hemiptera). *Proceedings of the Biological Society of Washington*. 67: 219-222.

- Dudgeon, D. 1984. The importance of streams in tropical rain-forest systems. In: Chadwick, A.C.; Sutton, S.L., eds. Tropical rain-forest: the leeds symposium. Leeds, UK: Leeds Philosophical and Literary Society: 71-82.
- Dudgeon, D. 1987. Niche specificities of our fish species (Homalopteridae, Cobitidae, and Gobiidae) in a Hong Kong forest stream. *Archiv für Hydrobiologie*. 108: 349- 364.
- Dudgeon, D. 1993. The effects of spate-induced disturbance, predation and environmental complexity on macroinvertebrates in a tropical stream. *Freshwater Biology*. 30: 189-197.
- Edmunds, G.F., Jr. 1982. Ephemeroptera. In: Hurlbert, S.H.; Villalobos-Figueroa, A., eds. Aquatic biota of México, Central America and the West Indies. San Diego, CA: San Diego State University: 242-248.
- Ego, K. 1956. Life history of freshwater gobies. Project 4-4-R, Freshwater game fish management research. Honolulu, HI: Hawaii Department of Land and Natural Resources:
- Erdman, D.S. 1961. Notes on the biology of the gobiid fish *Sicydium plumieri* in Puerto Rico. *Bulletin of Marine Science of the Gulf and Caribbean*. 11: 448-456.
- Erdman, D.S. 1984. Exotic fishes in Puerto Rico. In: Courtney, W.R., Jr.; Stouffer, J.R., eds. Distribution, biology and management of exotic fishes. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press: 162-176.
- Erdman, D.S. 1986. The green stream goby *Sicydium plumieri* in Puerto Rico. *Tropical Fish Hobbyist*. 34: 70-73.
- Fernando, C.H. 1991. Impacts of fish introductions in tropical Asia and America. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 48 (Suppl. 1): 24-32.
- Ferrington, L.C.J.; Buzby, K.M.; Masteller, E.C. 1993. Composition and temporal abundance of Chironomidae emergence from a tropical rainforest stream at El Verde, Puerto Rico. *Journal of the Kansas Entomological Society*. 66(2): 167-180.
- Fitzsimons, J.M.; Nishimoto, R.T. 1990. Territories and site tenacity in males of the Hawaiian stream goby *Lentipes concolor* (Pisces: Gobiidae). *Ichthyological Exploration of Freshwaters*. 1: 185-189.
- Fitzsimons, J.M.; Zink, R.M.; Nishimoto, R.T. 1990. Genetic variation in the Hawaiian stream goby *Lentipes concolor*. *Biochemical Systematics and Ecology*. 18: 81-83.
- Flint, O.S. 1964. The caddisflies (Trichoptera) of Puerto Rico. Technical Paper 40. Río Piedras, PR: University of Puerto Rico, Agricultural Experiment Station. 80 p.
- Flint, O.S. 1968. The caddisflies of Jamaica (Trichoptera). *Bulletin Institute Jamaica Sciences Series* 19.

Flint, O.S., Jr. 1992. New species of caddisflies from Puerto Rico (Trichoptera). *Proceedings of the Entomological Society of Washington*. 94(3): 379-389.

Flint, O.S., Jr.; Masteller, E.C. 1993. Composition and temporal abundance of Trichoptera emergence from a tropical rainforest stream at El Verde, Puerto Rico. *Journal of the Kansas Entomological Society*. 66: 140-150.

Flowers, R.W. 1991. Diversity of stream-living insects in northwestern Panamá. *Journal of the North American Benthological Society*. 10: 322-334.

Ford, J.I.; Kinzie, R.A. III. 1982. Life crawls upstream. *Natural History*. 91: 61-67.

Frangi, J.L.; Lugo, A.E. 1991. Hurricane damage to a flood plain forest in the Luquillo Mountains of Puerto Rico. *Biotropica*. 23: 324-335.

Froelich, P.N.; Atwood, D.K.; Giese, G.S. 1978. Influence of Amazon River discharge on surface salinity and dissolved silicate concentration in the Caribbean Sea. *Deep Sea Research*. 25: 735-744.

Fryer, G. 1977. Studies on the functional morphology and ecology of the atyid prawns of Dominica. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. 277: 57-129.

García-Díaz, J. 1938. An ecological survey of the freshwater insects of Puerto Rico. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*. 22: 43-97.

Gelhaus, J.K.; Masteller, E.C.; Buzby, K.M. 1993. Emergence composition and phenology of Tipulidae (Diptera) from a tropical rainforest stream at El Verde, Puerto Rico. *Journal of the Kansas Entomological Society*. 66(2): 160-166.

Gilbert, C.R.; Kelso, D.P. 1971. Fishes of the Tortuguero area, Caribbean Costa Rica. *Bulletin of Florida State Museums, Biological Sciences*. 16: 1-54.

Gilliam, J.F.; Fraser, D.F.; Alkins-Koo, M. 1993. Structure of a tropical stream fish community: A role for biotic interactions. *Ecology*. 74: 1856-1870.

Giusti, E.V.; López, M.A. 1967. Climate and streamflow of Puerto Rico. *Caribbean Journal of Science*. 7: 87-93.

Goldman, C.R. 1976. Ecological aspects of water impoundment in the Tropics. *Revista de Biología Tropical*. 24: 87-112.

Granger, O.E. 1982. Climate fluctuations in Trinidad, West Indies, and their implications for water resource planning. *Caribbean Journal of Science*. 17: 173-204.

Griesinger, B.; Gladwell, J.S. 1993. Hydrology and water resources of tropical Latin America and the Caribbean. In: Bonell, M.; Hufschmidt, M.M.; Gladwell, J.S., eds. *Hydrology and water management in the humid Tropics*. Cambridge, UK: UNESCO and Cambridge University Press: 84-98.

- Gupta, A. 1975. Stream characteristics in eastern Jamaica, an environment of seasonal flow and large floods. *American Journal of Science*. 275: 825-847.
- Hall, C.A.S.; Taylor, M.R.; Everham, E. 1992. A geographically-based ecosystem model and its application to the carbon balance of the Luquillo forest, Puerto Rico. *Water, Air, and Soil Pollution*. 64: 385-404.
- Hamilton, S.K.; Lewis, W.M.J.; Sippel, S.J. 1992. Energy sources for aquatic animals in the Orinoco River floodplain: evidence from stable isotopes. *Oecología*. 89: 324-330.
- Harrison, A.D.; Rankin, J.J. 1975. Forest litter and stream fauna on a tropical island, St. Vincent, West Indies. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*. 19: 1736-1745.
- Harrison, A.D.; Rankin, J.J. 1976a. Hydrobiological studies of eastern Lesser Antillean Islands: I. St. Vincent: Freshwater habitats and water chemistry. *Archiv für Hydrobiologie, Supplementband*. 50: 96-144.
- Harrison, A.D.; Rankin, J.J. 1976b. Hydrobiological studies of eastern Lesser Antillean Islands: II. St. Vincent: Freshwater fauna: Its distribution, tropical river zonation and biogeography. *Archiv für Hydrobiologie*. 50: 275-311.
- Harry, H.W.; Hubendick, B. 1964. The freshwater pulmonate Mollusca of Puerto Rico. *Kunl. Vet. Vitterh. Samh. Handl. F. 6 Ser. B*. 9(5): 1-77.
- Hart, C.W. 1961. The freshwater shrimps (Atyidae and Palaemonidae) of Jamaica, W.I. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*. 113: 61-80.
- Hart, C.W. 1964. A contribution to the limnology of Jamaica and Puerto Rico. *Caribbean Journal of Science*. 4: 331-334.
- Hart, C.W.; Hart, D.G. 1969. A contribution to the limnology of Dominica, West Indies. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*. 121: 109-126.
- Hathaway, C.B.J. 1978. Stream channel modification in Hawaii. Part C: Tolerance of native stream species to observed levels of environmental variability. Columbia, MO: FWS/OBS78/17, USFWS National Stream Alteration Team.
- Hildebrand, S.F. 1935. An annotated list of fishes of the fresh waters of Puerto Rico. *Copeia*. 1935: 49-56.
- Hinton, H.E. 1971. The Elmidae (Coleoptera) of Trinidad and Tobago. *British Museum (Natural History) Bulletin, Entomology*. 26(6): 245-265.
- Holthuis, L.B. 1954. On a collection of decapod crustacea from the Republic of El Salvador (Central America). *Zool. Verh.* 23: 1-43.

Honeychurch, P.N. 1978. Water Reseau: Dominica National Park Service.

Hunte, W. 1975. *Atya lanipes* (Holthuis) in Jamaica, including taxonomic notes and a description of the first larval stage (Decapoda, Atyidae). *Crustaceana*. 28: 66-72.

Hunte, W. 1977. Laboratory rearing of the atyind shrimps *Atya innocous* (Herbst) and *Micratya poeyi* (Guerin-Meneville) (Decapoda, Atyidae). *Aquaculture*. 11: 373-378.

Hunte, W. 1978. The distribution of freshwater shrimps (Atyidae and Palaemonidae) in Jamaica. *Zoological Journal of the Linnean Society*. 64: 135-150.

Hunte, W. 1979. The complete larval development of the freshwater shrimp *Atya innocous* (Herbst) reared in the laboratory (Decapoda, Atyidae). *Crustaceana* 5(suppl.): 231-242.

Hunte, W. 1980. The laboratory rearing of larvae of the shrimp *Macrobrachium faustinum* (Decapoda, Palaemonidae). *Caribbean Journal of Science*. 16(1-4): 57-62.

Hurlbert, S.H.; Villalobos-Figueroa, A. 1982. Aquatic biota of México, Central America and the West Indies. San Diego, CA: San Diego State University.

Hynes, H.B.N. 1971. Zonation of the invertebrate fauna in a West Indian stream. *Hydrobiologia*. 38: 1-8.

Illies, J. 1969. Biogeography and ecology of neotropical freshwater insects, especially those from running waters. In: Fittkan, E.J., ed. *Biogeography and ecology in South America*. The Hague: W. Junk: 685-708.

Jauregui, O.E. 1968. La temporada de ciclones de 1967 y su contribución a la precipitación anual en México. *Ingeniería Hidráulica en México*. 22: 169-176.

Jordan, D.S. 1923. Habits of the Trinidad guapin, *Rivulus harti* (Boulenger). *Copeia*. 119: 69-70.

Kapetsky, L.; McGregor, L.; Nanne, E.H. 1987. A geographical information system and satellite remote sensing to plan for aquaculture development: A FAO-UNEP/GRID cooperative study in Costa Rica. *FAO Fisheries Technical Paper* 287.

Kinzie, R.A. III. 1988. Habitat utilization by Hawaiian stream fishes with reference to community structure in oceanic island streams. *Environmental Biology of Fishes*. 22: 179-192.

Kinzie, R.A. III. 1990. Species profiles: life histories and environmental requirements of coastal vertebrates and invertebrates, Pacific Ocean region. Report 3, Amphidromous macrofauna of island streams, Technical Report EL-89-10. Vicksburg, MS: U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station.

- Kinzie, R.A. III. 1993. Reproductive biology of an endemic, amphidromous goby *Lentipes concolor* in Hawaiian streams. *Environmental Biology of Fishes*. 37: 257-268.
- Kinzie, R.A. III.; Ford, J.I.; Yuen, A.R.; Chow, S.J.L. 1986. Habitat modelling of Hawaiian streams. Technical Report 171. University of Hawaii at Manoa, Honolulu, HI: Water Resources Research Center.
- Kramer, D.L. 1978. Reproductive seasonality in the fishes of a tropical stream. *Ecology*. 59: 976-985.
- Krishna, J.H.; Quiñones-Aponte, V.; Gómez-Gómez, F.; Moris, G.L., eds. 1990. Tropical hydrology and Caribbean water resources: Proceedings of the international symposium on tropical hydrology and fourth Caribbean Islands water resources congress; San Juan, PR. Bethesda, MD: 1990 July 22-27, American Water Resources Association.
- Leentvaar, P. 1985. Alto Sinu hydroelectric project in Colombia: Possible consequences for the environment. *Hydrobiologia*. 120: 241-248.
- Lewis, J.B.; Fish, A.G. 1969. Seasonal variation of the zooplankton fauna of surface waters entering the Caribbean Sea at Barbados. *Caribbean Journal of Science*. 9: 1-24.
- Lewis, W.M., Jr. 1974. Primary production in the plankton community of a tropical lake. *Ecological Monographs*. 44: 377-409.
- Lewis, W.M., Jr. 1986. Losses of nitrogen and phosphorus from a nutrient-poor tropical moist forest. *Ecology*. 67: 1275-1282.
- Lewis, W.M., Jr. 1988. Primary production in the Orinoco River. *Ecology*. 69: 679-692.
- Lewis, W.M., Jr.; Weibezahn, F.H. 1976. Chemistry, energy flow, and community structure in some Venezuelan fresh waters. *Archiv für Hydrobiologies Supplementband*. 50: 145-207.
- Lewis, W.M., Jr.; Saunders J.F. III.; Weibezahn, F.H.; Levine, S.N. 1986. Organic carbon in the Caura River, Venezuela. *Limnology and Oceanography*. 31: 653-656.
- Lodge, D.J.; McDowell, W.H. 1991. Summary of ecosystem-level effects of Caribbean hurricanes. *Biotropica*. 23: 373-378.
- Lodge, D.J.; McDowell, W.H.; McSwiney, C.P. 1994. The importance of nutrient pulses in tropical forests. *Trends in Ecology and Evolution*. 9: 384-387.
- Lodge, J.L.; Scatena, F.N.; Asbury, C.E.; Sánchez, M.J. 1991. Fine litterfall and related nutrient inputs resulting from Hurricane Hugo in subtropical wet and lower montane rain forests of Puerto Rico. *Biotropica*. 23: 336-342.

- Lowe-McConnell, R.H. 1975. Fish communities in tropical freshwaters. New York: Longman.
- Ludwig, H.F. 1982. Environmental aspects of multi-purpose reservoir projects in developing countries. *Water Science Technology*. 14: 269-288.
- Lugo, A.E. 1986. Water and the ecosystems of the Luquillo Experimental Forest. Gen. Tech. Rep. SO-63. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry.
- Lyons, J.L.; Schneider, D.W. 1990. Factors influencing fish distributions and diversity in a small coastal stream in southwestern Costa Rica. *Hydrobiologia*. 203: 1-14.
- Maciolek, J.A. 1977. Taxonomic status of Hawaiian *Lentipes*, a diadromous goby, with notes on its biology and distribution. *Pacific Science*. 31:355-362.
- Masteller, E.; Flint, O., Jr. 1992. Long-term emergence phenology of Trichoptera from tropical mountain streams on Puerto Rico. In: *Proceedings of the Seventh International Symposium of Trichoptera*.
- Masteller, E.C. 1993. Comparison of tropical and temperate emergence phenology of aquatic insects from Puerto Rico and Pennsylvania. *Journal of the Kansas Entomological Society*. 66(2): 192-199.
- Masteller, E.C.; Buzby, K.M. 1993. Composition and temporal abundance of aquatic insect emergence from a tropical rainforest stream, Quebrada Prieta, at El Verde, Puerto Rico. Introduction. *Journal of the Kansas Entomological Society*. 66(2): 133-139.
- McDade, L.A.; Bawa, K.S.; Hespenheide, H.A.; Hartshorn, G.S. 1994. *La Selva: Ecology and natural history of neotropical rain forest*. Chicago: University of Chicago Press.
- McDowell, W.H. 1991. Nutrient and major element chemistry of Caribbean rain forest streams. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*. 24: 1720-1923.
- McDowell, W.H.; Asbury, C.E. 1994. Export of carbon, nitrogen, and major ions from three tropical montane watersheds. *Limnology and Oceanography*. 39: 111-125.
- McDowell, W.H.; Sánchez, G.G.; Asbury, C.E.; Pérez, C.R.R. 1990. Influence of salt sea aerosols and long range transport on precipitation chemistry at El Verde, Puerto Rico. *Atmospheric Environment*. 24A(11): 2813-2821.
- McElravy, E.P.; Wolda, H.; Resh, V.H. 1982. Seasonality and annual variability of caddisfly adults (Trichoptera) in a "non-seasonal" tropical environment. *Archiv für Hydrobiologie*. 94: 302-317.

- McKaye, W. 1980. Comments on the breeding biology of *Gobiomorus dormitor*. *Copeia*. 3: 542-544.
- McKillop, W.B.; Harrison, A.D. 1982. Hydrobiological studies of the eastern Lesser Antillean Islands. VII. St. Lucia: Behavioural drift and other movements of freshwater marsh molluscs. *Archiv für Hydrobiologie*. 94: 53-69.
- McKillop, W.B.; Harrison, A.D.; Rankin, J.J. 1981. Hydrobiological studies of the eastern Lesser Antillean Islands. VI. St. Lucia: Freshwater molluscs and the marsh environment. *Archiv für Hydrobiologie, Supplementband*. 58: 357-429.
- Michalski, J. 1988. A catalogue and guide to the dragonflies of Trinidad (Orden Odonata). Occasional Paper 6. Trinidad: The University of the West Indies, Department of Zoology. 146 p.
- Miller, R.R. 1966. Geographical distribution of Central American freshwater fishes. *Copeia*. 1966: 773-802.
- Miller, R.R.; Smith, M.L. 1986. Origin and geography of the fishes of Central México. New York: John Wiley and Sons.
- Milton, J.; White, C. 1969. The urgent need for effective conservation on Dominica. *IUCN Bulletin*. 2: 93.
- Mohlenbrock, R.H. 1987. El Yunque rain forest, Puerto Rico. *Natural History*. 96: 76-79.
- Mueller-Karger, F.; Varela, R.J. 1989. Influence of the Orinoco River on the Caribbean Sea: Observations from space through the CZCS. *Memoria de la Sociedad de Ciencias Naturales La Salle*. 49-50: 131-134.
- Mueller-Karger, F.E.; McClain, C.R.; Fisher, T.R., and others. 1989. Pigment distribution in the Caribbean Sea: Observations from space. *Progress in Oceanography*. 23: 23-64.
- Myers, G.S. 1938. Freshwater fishes and West Indian zoogeography. Annual Report. Washington, DC: Smithsonian Institution. 1937: 339-364.
- Nieser, N.; Alkins-Koo, M. 1991. The waterbugs of Trinidad and Tobago. Occasional Paper 9. Trinidad: The University of the West Indies, Department of Zoology. 127 p.
- Nishimoto, R.T.; Fitzsimons, J.M. 1986. Courtship, territoriality, and coloration in the endemic Hawaiian freshwater goby, *Lentipes concolor*. In: Indo-Pacific Fish Biology: Proceedings of the Second International Conference on Indo-Pacific Fishes. 811-817.
- Nolte, U. 1988. Small water colonization in pulse stable (varzea) and constant (terra firme) biotopes in the Neotropics. *Archiv für Hydrobiologie*. 113: 541-550.

Nordlie, F.G.; Kelso, D.P. 1975. Trophic relationships in a tropical estuary. *Revista de Biologia Tropical*. 23: 77-99.

Norton, S.E.; Timbol, A.S.; Parrish, J.D. 1978. Stream channel modification in Hawaii. Part B: Effect of channelization on the distribution and abundance of fauna in selected streams. FWS/OBS-78/17. Columbia, MO: U.S. Fish and Wildlife Service, National Stream Alteration Team.

Obeng, L.E. 1981. Man's impact on tropical rivers. In: Lock, M.A.; Williams, D.D., eds. *Perspectives in running water ecology*. New York: Plenum Press: 265-288.

Pagán, F.; Austin, H.M. 1970. Report on a fish kill at Laguna Joyuda, western Puerto Rico, in summer 1967. *Caribbean Journal of Science*. 10(3-4): 203-208.

Pauly, D. 1983. Some simple methods for assessment of tropical fish stock. *FAO Fisheries Technical Paper*. 234: 1-52.

Payne, A.L. 1986. *The ecology of tropical lakes and rivers*. New York: John Wiley & Sons.

Penczak, T.; Lasso, C. 1991. Problems of estimating population parameters and production of fish in a tropical rain forest stream, North Venezuela. *Hydrobiologia*. 215: 121-133.

Penczak, T.; Rodríguez, G. 1990. The use of electrofishing to estimate population densities of freshwater shrimps (Decapoda, Natantia) in a small tropical river, Venezuela. *Archiv für Hydrobiologie*. 118: 501-509.

Pescador, M.L.; Masteller, E.C.; Buzby, K.M. 1993. Composition and phenology of Ephemeroptera from a tropical rainforest stream at El Verde, Puerto Rico. *Journal of the Kansas Entomological Society*. 66(2): 151-159.

Peters, W.L. 1971. A revision of the Leptophlebiidae of the West Indies (Ephemeroptera). *Smithsonian Contributions to Zoology*. 62: 1-48.

Petr, T. 1978. Tropical man-made lakes—their ecological impact. *Archiv für Hydrobiologie*. 81: 368-385.

Pickup, G. 1980. Hydrologic and sediment modeling studies in the environmental impact assessment of a major tropical dam project. *Earth Surface Processes*. 5: 61-75.

Polhemus, D.A.; Maciolek, J.A.; Ford, J. 1992. An ecosystem classification of inland waters for the tropical Pacific Islands. *Micronesica*. 25: 152-173.

Power, M.E. 1984. Habitat quality and the distribution of algae-grazing catfish in a Panamanian stream. *Journal of Animal Ecology*. 53: 357-374.

Power, M.E.; Dudley, T.L.; Cooper, S.D. 1989. Grazing catfish, fishing birds, and attached algae in a Panamanian stream. *Environmental Biology of Fishes*. 26: 285-294.

- Pringle, C.M. 1991. Geothermally modified waters surface at La Selva Biological Station, Costa Rica: Volcanic processes introduce chemical discontinuities into lowland tropical streams. *Biotropica*. 23: 523-529.
- Pringle, C.M.; Blake, G.A. 1994. Quantitative effects of atyid shrimp (Decapoda: Atyidae) on the depositional environment in a tropical stream: Use of electricity for experimental exclusion. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 51: 1443-1450.
- Pringle, C.M.; Blake, G.A.; Covich, A.P. [and others]. 1993. Effects of omnivorous shrimp in a montane tropical stream: sediment removal, disturbance of sessile invertebrates and enhancement of understory algal biomass. *Oecología*. 93: 1-11.
- Pringle, C.M.; Triska, F.J.; Browder, G. 1990. Spatial variation in basic chemistry of streams draining a volcanic landscape on Costa Rica's Caribbean slope. *Hydrobiologia*. 206: 73-85.
- Quiñones-Márquez, F.; Carvajal-Zamora, J. 1980. A reconnaissance of the water quality and limnology of Laguna Tortuguero, Puerto Rico. *Caribbean Journal of Science*. 16(1-4): 121-125.
- Radtke, R.L.; Kinzie, R.A. III. 1987. Age at recruitment of Hawaiian freshwater gobies determined from daily otolith increments. *Bulletin of Marine Science*. 41: 640-641.
- Radtke, R.L.; Kinzie, III, R.A.; Folsom, S.D. 1988. Age at recruitment of Hawaiian freshwater gobies. *Environmental Biology of Fishes*. 23: 205-213.
- Reinhardt, W.G. 1987. Rockfill dam squeezed into canyon. *ENR*. 218: 52-53.
- Rogers, J.C. 1988. Precipitation variability over the Caribbean and tropical Americas associated with the Southern Oscillation. *Journal of Climate*. 1: 172-182.
- Sanford, R.L., Jr.; Paaby, P.; Luvall, J.C.; Phillips, E. 1994. Climate, geomorphology, and aquatic systems. In: McDade, L.A.; Bawa, K.S.; Hespenheide, H.A.; Hartshorn, G.S., eds. *La Selva: Ecology and natural history of a neotropical rain forest*. Chicago: University of Chicago Press: 19-33.
- Saunders, J.F., III; Lewis, W.M., Jr. 1988a. Zooplankton abundance and transport in a tropical white-water river. *Hydrobiologia*. 162: 147-155.
- Saunders, J.F., III; Lewis, W.M., Jr. 1988b. Zooplankton abundance in the Caura River, Venezuela. *Biotropica*. 20: 206-214.
- Scatena, F.N. 1989. An introduction to the physiography and history of the Bisley Experimental Watersheds in the Luquillo Mountains of Puerto Rico. Gen. Tech. Rep. SO-72. New York, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, New Orleans.

Scatena, F.N. 1990. Selection of riparian buffer zones in humid tropical steepplands. In: Ziemer, R.R.; O'Loughlin, C.L.; Hamilton, L.S., eds. Humid tropical steepplands: Research needs and applications to reduce erosion and sedimentation in tropical steepplands. International Association of Hydrological Sciences Pub. 192. Wallingford, England: IAHS Press: 328-337.

Scatena, F.N.; Larsen, M.C. 1991. Physical aspects of Hurricane Hugo in Puerto Rico. *Biotropica*. 23: 317-323.

Scatena, F.N.; Silver, W.; Siccama, T. [and others]. 1993. Biomass and nutrient content of the Bisley Experimental Watersheds, Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico, before and after Hurricane Hugo, 1989. *Biotropica*. 25:15-27.

Schneider, D.W.; Frost, T.M. 1986. Massive upstream migrations by a tropical freshwater snail. *Hydrobiologia*. 137: 153-157.

Schwassman, H.O. 1978. Times of annual spawning and reproductive strategies in Amazonian fishes. In: Thorpe, J.E., ed. Rhythmic activity of Fishes. London, UK: Academic Press: 187-200.

Sheath, R.G.; Vis, M.L.; Cole, K.M. 1993. Distribution and systematics of freshwater Ceramiales (Rhodophyta) in North America. *Journal of Phycology*. 29: 108-117.

Starmuhlner, F. 1984. Occurrence, longitudinal distribution and geographic range of the fresh and brackish water molluscs of the Lesser Antillean Islands (Guadeloupe, Dominica and Martinique). *Soosiana*. 12: 83-102.

Starmuhlner, F.; Therezien, Y. 1982. Resultats de la mission hydrobiologique austrofrancaise de 1979 aux iles de la Guadeloupe, de la Dominique et de la Martinique (Petites Antilles). II-Etude generale de la Dominique et de la Martinique. *Revue d'Hydrobiologie Tropicale*. 15: 325-345.

Stone, A. 1969. The black flies of Dominica. *Proceedings of the Entomological Society of Washington*. 71(3): 312-318.

Stout, J. 1980. Leaf decomposition rates in Costa Rican lowland tropical rainforest streams. *Biotropica*. 12: 264-272.

Stout, J.; Vandermeer, J. 1975. Comparison of species richness for stream-inhabiting insects in tropical and mid-latitude streams. *American Midland Naturalist*. 109: 263-280.

Stout, R.J. 1981. How abiotic factors affect the distribution of two species of tropical predaceous aquatic bugs (family: Naucoridae). *Ecology*. 62: 1170-1178.

Stout, R.J. 1982. Effects of a harst environment on the life history patterns of two species of tropical aquatic hemiptera (family: Naucoridae). *Ecology*. 63: 75-83.

- Tate, D.C.; Fitzsimons, J.M.; Cody, R.P. 1992. Hawaiian freshwater fishes (Osteichyes, Gobiodei): A field key to the species of larvae and postlarvae during recruitment into freshwaters. *Occasional Papers of the Museum of Natural Science; State University*. 65: 1-11.
- Thorp, J.H.; Covich, A.P. 1991. *Ecology and classification of North American freshwater invertebrates*. New York: Academic Press:
- Travers, J.R. 1938. Mayflies of Puerto Rico. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*. 33: 5-40.
- Triska, F.J.; Pringle, C.M.; Zellweger, G.W. [and others]. 1993. Dissolved inorganic nitrogen composition, transformation, retention, and transport in naturally phosphate-rich and phosphate-poor tropical streams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 50(3): 665-675.
- Vaux, P.D.; Goldman, C.R. 1990. Dams and development in the Tropics: The role of applied ecology. In: Goodland, R., ed. *Race to save the Tropics: Ecology and economics for a sustainable future*. Washington, DC: Island Press: 101-123.
- Vélez, M.J. 1967. Checklist of the terrestrial and freshwater decapods of Puerto Rico. *Caribbean Journal of Science*. 7: 41-44.
- Verde, T. 1993. Caribbean nightlife: Ten miles off the coast of Puerto Rico, the island of Vieques shelters a bay that glows in the dark. *Wildlife Conservation*. 96: 72-75.
- Villalobos-Figueroa, A. 1982. Decapoda. In: Hurlbert, S.H.; Villalobos-Figueroa, A., eds. *Aquatic biota of México, Central America and the West Indies*. San Diego, CA: San Diego State University: 215-239.
- Villamil, J.; Clements, R.G. 1976. Some aspects of the ecology of freshwater shrimps in the upper Espiritu Santo River at El Verde, Puerto Rico. PRNC-206. Puerto Rico Nuclear Center, U.S. Energy Research and Development Administration.
- Wagner, R.H.; Masteller, E.C. 1993. Composition and temporal abundance of mothflies (Diptera, Psychodidae) from a tropical rainforest stream at El Verde, Puerto Rico. *Journal of the Kansas Entomological Society*. 66(2): 181-186.
- Waide, R.B.; Lugo, A.E. 1992. A research perspective on disturbance and recovery of a tropical montane forest. In: Goldammer, J.G., ed. *Tropical forests in transition*. Switzerland: Birkhauser Verlag Basel: 173-190.
- Walker, L.R.; Voltzow, J.; Ackerman, J.D. [and others]. 1992. Immediate impact of Hurricane Hugo on a Puerto Rican rain forest. *Ecology*. 73(2): 691-694.
- Way, C.M.; Burky, A.J. 1991. Preliminary survey of macroinvertebrates and a preliminary assessment of the diet of the endemic Hawaiian goby ('o'opu alamo'o), *Lentipes concolor* (Gill) in

relation to water column and benthic flow in Hawaiian streams. In: New directions in research, management, and conservation of Hawaiian stream ecosystems, Proceedings of the 1990 symposium on freshwater stream biology and fisheries management; Honolulu, HI: 158-164.

Weaver, P.L. 1986. Hurricane damage and recovery in the montane forests of the Luquillo Mountains of Puerto Rico. *Caribbean Journal of Science*. 22: 53-70.

Whifford, L.A.; Robertson, E.T. 1981. Some freshwater algae from Jamaica. *Nova Hedwigia*. 34: 521-524.

Winemiller, K.O. 1982. An introduction to the freshwater fish communities of Corcovado National Park, Costa Rica. *Brenesia*. 21: 47-66.

Winemiller, K.O. 1990. Spatial and temporal variation in tropical fish trophic networks. *Ecological Monographs*. 60: 331-367.

Winemiller, K.O. 1993. Seasonality of reproduction by livebearing fishes in tropical rainforest streams. *Oecología*. 95: 266-276.

Winemiller, K.O.; Leslie, M.A. 1992. Fish assemblages across a complex, tropical freshwater/marine ecotone. *Environmental Biology of Fishes*. 34: 29-50.

Wolda, H.; Flowers, R.W. 1985. Seasonality and diversity of mayfly adults (Ephemeroptera) in a "nonseasonal" tropical environment. *Biotropica*. 17: 330-335.

Zaret, T.M.; Paine, R.T. 1973. Species introduction in a tropical lake. *Science*. 182: 449-455.

Zaret, T.M.; Rand, A.S. 1971. Competition in tropical stream fishes: Support for the competitive exclusion principle. *Ecology*. 52: 336-342.

Selected Instream Flow References

Angermeier, P.L.; Karr, J.R. 1984. Relationships between woody debris and fish habitat in a small warmwater stream. *Transactions of the American Fisheries Society*. 113: 716-726.

Armitage, P.D.; Gunn, R.J.M.; Furse, M.T. [and others]. 1987. The use of prediction to assess macroinvertebrate response to river regulation. *Hydrobiologia*. 144: 25-32.

Armour, C.; Fisher, R.J.; Terrell, J.W. 1984. Comparison of the use of the habitat evaluation procedure (HEP) and the instream flow incremental methodology (IFIM) in aquatic analyses. U.S. Fish and Wildlife Service FWS/OBS-84/11. 30 p.

Armour, C.L.; Taylor, J.L. 1991. Evaluation of the instream flow incremental methodology by the U.S. Fish and Wildlife Service field users. *Fisheries*. 16(5): 36-43.

- Bagley, J.M.; Larson, D.T.; Kapaloski, L. 1985. Satisfying instream flow needs under western water rights. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 111: 171-191.
- Bain, M.B.; Boltz, J.M. 1989. Regulated streamflow and warmwater stream fish: A general hypothesis and research agenda. U.S. Fish and Wildlife Service Biological Report. 89(18): 28.
- Bartholow, J.M. 1989. Stream temperature investigations: field and analytical methods. Instream Flow Information Paper 13. U.S. Fish and Wildlife Service Biological Report. 89(17).
- Bartholow, J.M.; Waddle, T.J. 1986. Introduction to stream network habitat analysis. Instream Flow Information Paper 22. U.S. Fish and Wildlife Service Biological Report. 86(8): 242.
- Bayazit, M.; Bulu, A. 1988. Complex Markov models to simulate persistent streamflows. *Journal of Hydrology*. 103: 199-208.
- Beecher, H.A. 1990. Standards for instream flows. *Rivers*. 1: 97-109.
- Beecher, H.A.; Johnson, T.H.; Carleton, J.P. 1993. Predicting microdistribution of steelhead (*Oncorhynchus mykiss*) parr from depth and velocity preference criteria: Test of an assumption of the instream flow incremental methodology. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 50: 2380-2387.
- Binns, N.A.; Eiserman, F.M. 1979. Quantification of fluvial trout habitat in Wyoming. *Transactions of the American Fisheries Society*. 108: 215-228.
- Bovee, K.D. 1981. A user's guide to the instream flow incremental methodology. U.S. Fish and Wildlife Service Biological Report FWS 3BS-80/52.
- Bovee, K.D. 1982. A guide to stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology. Instream Flow Information Paper 12. U.S. Fish and Wildlife Service Biological Report FWS/OBS-82/26. 284 p.
- Bovee, K.D. 1986. Development and evaluation of habitat suitability criteria for use in the instream flow incremental methodology. Instream Flow Information Paper No. 21. U.S. Fish and Wildlife Service Biological Report FWS/OBS-86/7.
- Bovee, K.D.; Cochnauer, T. 1977. Development and evaluation of weighted criteria, probability of use curves for instream flow assessments: Fisheries. U.S. Fish and Wildlife Service Biological Report FWS/OBS-77/63.
- Bovee, K.D.; Milhous, R.T. 1978. Hydraulic simulation in instream flow studies: Theory and techniques. Instream Flow Information Paper 5. U.S. Fish and Wildlife Service Biological Report FWS/OBS-78/33. 130 p.
- Bovee, K.D.; Thomas, J.A. 1993. Application and testing of procedures to evaluate transferability of habitat suitability criteria. *Regulated Rivers: Research and Management*. 8(3): 285-294.

- Brooks, H.T. 1979. Reserved water rights and our National Forests. *Natural Resources Journal*. 19: 433-443.
- Brown, T.C. 1991. Water for wilderness areas: Instream flow needs, protection, and economic value. *Rivers*. 2: 311-325.
- Cavendish, M.G.; Duncan, M.I. 1986. Use of the instream flow methodology: A tool for negotiation. *Environmental Impact Assessment Review*. 6: 347-363.
- Cheslak, E.F.; Jacobson, A.S. 1990. Integrating the instream flow incremental methodology with a population response model. *Rivers*. 1(4): 264-289.
- Clancy, C.G. 1988. Effects of dewatering on spawning by Yellowstone cutthroat trout in tributaries to the Yellowstone River, Montana. *American Fisheries Society Symposium*; Bethesda, MD: American Fisheries Society. 4: 37-41.
- Cock, M.J.W. 1978. The assessment of preference. *Journal of Animal Ecology*. 47: 805-816.
- Colby, B.G. 1990. Enhancing instream flow benefits in an era of water marketing. *Water Resources Research*. 26: 1113-1120.
- Cross, F.B.; Moss, R.E. 1987. Historic changes in fish communities and aquatic habitats in plains streams of Kansas. In: Matthews, W.J.; Heins, D.C., eds. *Community and evolutionary ecology of North American stream fishes*. Norman, UK: University of Oklahoma Press: 155-165.
- Degani, G.; Herbst, G.N.; Ortal, R. [and others]. 1992. Faunal relationships to abiotic factors along the River Dan in northern Israel. *Hydrobiologia*. 246: 69-82.
- Degani, G.; Herbst, G.N.; Ortal, R. [and others]. 1993. Relationship between current velocity, depth and the invertebrate community in a stable river system. *Hydrobiologia*. 263: 163-172.
- Dingman, S.L. 1989. Probability distribution of velocity in natural channel cross sections. *Water Resources Research*. 25: 509-518.
- Duffield, J.C.; Neher, C.J.; Brown, T.C. 1991. Recreational benefits of instream flow: Application to Montana's Big Hole and Bitterroot rivers. Draft manuscript available from U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Fort Collins, CO.
- Estes, C.C.; Orsborn, J.F. 1986. Review and analysis of methods for quantifying instream flow requirements. *Water Resources Bulletin*. 22: 389-398.
- Filipek, S.; Keith, W.E.; Giese, J. 1987. The status of the instream flow issue in Arkansas. *Proceedings of the Arkansas Academy of Science*. 41(1): 43-48.

Frissell, C.A.; Liss, W.J.; Warren, C.E.; Hurley, M.D. 1986. A hierarchical framework for stream habitat classification: Viewing streams in a watershed context. *Environmental Management*. 10: 199-214.

Geer, W.H. 1930. Evaluation of five instream flow needs methodologies and water quality needs of three Utah trout streams. Utah Division of Wildlife Resources Publication 80-20. 227 p.

Glova, G.J.; Duncan, M.J. 1985. Potential effects of reduced flows on fish habitats in a large braided river, New Zealand. *Transactions of the American Fisheries Society*. 114: 165-181.

Gore, J. 1983. Considerations of size related flow preferences among macroinvertebrates used in instream flow studies. In: Shuval, H.I., ed. *Developments in ecology and environmental quality*. Jerusalem: Balaban Int. Publ: 389-397.

Gore, J. 1987. Development and application of macroinvertebrate instream flow models for regulated flow management. In: Craig, J.F.; Kemper, J.B., eds. *Regulated streams: Advances in ecology*. New York: Plenum Press: 99-115.

Gore, J.; Bryant, R.J. 1990. Temporal shifts in physical habitat of the crayfish, *Orconectes neglectus* (Faxon). *Hydrobiologia*. 199: 131-142.

Gore, J.A.; Judy, R.D.J. 1981. Predictive models of benthic macroinvertebrate density for use in instream flow studies and regulated flow management. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 38: 1363-1370.

Gore, J.A.; Nestler, J.M. 1988. Instream flow studies in perspective. *Regulated Rivers: Research and Management*. 2: 93-101.

Gupta, V.K.; Waymire, E. 1989. Statistical self-similarity in river networks parameterized by elevation. *Water Resources Research*. 25: 463-476.

Hansen, L.T.; Hallam, A. 1991. National estimates of the recreational value of streamflow. *Water Resources Research*. 27: 167-175.

Helfman, G.S. 1981. The advantage to fishes of hovering in shade. *Copeia*. 1981(2): 392-400.

Hill, M.T.; Platts, W.S.; Beschta, R.L. 1991. Ecological and geomorphological concepts for instream and out-of-channel flow requirements. *Rivers*. 2: 198-210.

Hubert, W.A. 1989. Relations of physical habitat to abundance of four non-game fishes in high-plains streams: a test of habitat suitability index models. *North American Journal of Fisheries Management*. 9: 332-340.

Irvine, J.R. 1986. Effects of successive flow perturbations on stream invertebrates. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 42: 1922-1927.

- Jackson, W.; Shelby, B.; Martínez, A.; Haveren, B.V. 1989. An interdisciplinary process for protecting instream flows. *Journal of Soil and Water Conservation*. 44: 121-127.
- Johnson, D.H. 1980. The comparison of usage and availability measurements for evaluating resource preference. *Ecology*. 61: 65-71.
- Junk, W.J.; Bayley, P.B.; Sparks, R.E. 1989. The flood pulse concept in river floodplain systems. In: Dodge, D.P., ed. *Proceedings of the International Large River Symposium; Canadian Fish and Aquatic Sciences Special Publication*. 106: 352-371.
- Karr, J.R. 1991. Biological integrity: A long-neglected aspect of water resource management. *Ecological Applications*. 1: 66-84.
- Kinzie, R.A. III. 1988. Habitat utilization by Hawaiian stream fishes with reference to community structure in oceanic island streams. *Environmental Biology of Fishes*. 22: 179-192.
- Kinzie, R.A. III.; Ford, J.I.; Yuen, A.R.; Chow, S.J.L. 1986. Habitat modelling of Hawaiian streams. Technical Report 171. Honolulu: University of Hawaii at Manoa, Water Resources Research Center. [Not paged].
- Kondolf, G.M.; Webb, J.W.; Sale, M.L.; Felando, T. 1987. Basic hydrologic studies for assessing impacts of flow diversions on riparian vegetation: Examples from streams of the Eastern Sierra Nevada, California. *Environmental Management*. 11: 757-769.
- Kulik, B.H. 1990. A method to refine the New England aquatic base flow policy. *Rivers*. 1(1): 8-22.
- Lamb, B.L. 1986. Meeting the challenge of policy-relevant science: Lessons from a water resource project. *Water Resources Bulletin*. 22: 811-815.
- Lamb, B.L.; Lord, E. 1992. Legal mechanisms for protecting riparian resource values. *Water Resources Bulletin*. 30: 965-977.
- Layher, W.G.; Brunson, K.L. 1992. A modification of the habitat evaluation procedure for determining instream flow requirements in warmwater streams. *North American Journal of Fisheries Management*. 12: 47-54.
- Layher, W.G.; Maughan, O.E. 1985. Relations between habitat variables and channel catfish populations in prairie streams. *Transactions of the American Fisheries Society*. 114: 771-781.
- Leonard, P.M.; Orth, D.J. 1988. Use of habitat guilds of fishes to determine instream flow requirements. *North American Journal of Fisheries Management*. 8: 399-409.
- Loar, J.M. 1985. Application of habitat evaluation models in southern Appalachian trout streams.

Publication 2383. ORNL/TM-9323. Oak Ridge, TN: Oak Ridge National Laboratory, Environmental Sciences Division.

Lobb, M.D. III.; Orth, D. 1991. Habitat use by an assemblage of fish in a large warmwater stream. *Transactions of the American Fisheries Society*. 120: 65-78.

Marx, J.; Hernkind, W. 1985. Factors regulating microhabitat use by young juvenile spiny lobsters (*Panulirus argus*): Food and shelter. *Journal of Crustacean Biology*. 5: 650-657.

Mathews, R.C., Jr.; Bao, Y. 1991. The Texas method of preliminary instream flow assessment. *Rivers*. 2: 295-310.

Mathur, D.; Bason, W.H.; Purdy, E.J.; Silver, C.A. 1985. A critique of the instream flow incremental methodology. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 42: 825-831.

Milhous, R.T. 1987. Minimum flow protection in riparian states. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 113: 449-451.

Milhous, R.T.; Wegner, D.L.; Waddle, T. 1984. User's guide to the physical habitat simulation system (PHABSIM). Instream Flow Information Paper 11, FWS/OBS-8143 Revised. U.S. Fish and Wildlife Service. 475 p.

Modde, T.; Ford, R.C.; Parsons, M.G. 1991. Use of a habitat-based stream classification system for categorizing trout biomass. *North American Journal of Fisheries Management*. 11: 305-311.

Modde, T.; Hardy, T.B. 1992. Influence of different microhabitat criteria on salmonid habitat simulation. *Rivers*. 3: 37-44.

Moss, D.; Furse, M.T.; Wright, J.F.; Armitage, P.D. 1987. The prediction of the macroinvertebrate fauna of unpolluted running-water sites in Great Britain using environmental data. *Freshwater Biology*. 17: 41-52.

Moyle, P.; Baltz, D. 1985. Microhabitat use by an assemblage of California stream fishes: Developing criteria for instream flow determinations. *Transactions of the American Fisheries Society*. 114: 695-704.

Narayanan, R. 1986. Evaluation of the recreational benefits of instream flows. *Journal of Leisure Research*. 18: 116-128.

Nelson, F.A. 1980. Evaluation of selected instream flow methods in Montana. In: *Proceedings of the Annual Conference of the Western Association of Fish and Wildlife Agencies*. 412-432.

Nelson, F.A. 1984a. Some trout-flow relationships in Montana. In: Richardson, F.; Hamre, R.H., eds. *Wild Trout III: Proceedings of a symposium*. Vienna, VA: Trout Unlimited: 122-126.

Nelson, P.C. 1984b. Suitability index (SI) curves for use in the instream flow incremental methodology. Ft. Collins, CO: Instream Flow Group.

Nestler, J.; Milhous, R.T.; Layzer, J.B. 1989. Instream habitat modeling techniques In: Gore, J.A., Petts, G.E., eds. Alternatives in regulated river management. Boca Raton, FL: CRC Press:

Nestler, J.M. 1990. Considerations in applying IFIM to warmwater streams. In: Ecology and assessment of warmwater streams: Workshop synopsis. U.S. Fish and Wildlife Service Biological Report. 90(5).

Ney, J.J.; Mauney, M. 1981. Impact of a small impoundment on benthic macroinvertebrate and fish communities of a headwater stream in the Virginia piedmont. In: Krumholz, L.A., ed. Proceedings, American Fisheries Society Warmwater Stream Symposium; Lawrence, KS: Division AFS: 102-112.

Orth, D.J.; Maughan, O.E. 1982. Evaluation of the incremental methodology for recommending instream flows for fishes. Transactions of the American Fisheries Society. 111: 413-445.

Orth, D.J.; Maughan, O.E. 1983. Microhabitat preferences of benthic fauna in a woodland stream. Hydrobiologia. 106: 157-168.

Orth, D.J. 1987. Ecological considerations in the development and applications of instream flow-habitat models. Regulated Rivers: Research and Management. 1: 171-181.

Orth, D.J.; Maughan, O.E. 1986. In defense of the instream flow incremental methodology. Canadian Journal of Aquatic Science. 43: 1092-1093.

Osborne, L.L.; Wiley, M.J. 1992. Influence of tributary spatial position on the structure of warmwater fish communities. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science. 49: 671-681.

Osborne, L.L.; Wiley, M.J.; Larimore, R.W. 1988. Assessment of the water surface profile model: Accuracy of predicted instream fish habitat conditions in a low gradient warm water stream. Regulated Rivers: Research and Management. 2: 619-631.

Pajak, P.; Neves, R.J. 1987. Habitat suitability and fish production: A model evaluation for Rock Bass in two Virginia streams. Transactions of the American Fisheries Society. 116: 839-850.

Platts, W.S.; Nelson, R.L. 1988. Fluctuations in trout populations and their implications for land-use evaluation. North American Journal of Fisheries Management. 8: 333-345.

Rabeni, C.F.; Minshall, G.W. 1977. Factors affecting microdistribution of stream benthic insects. Oikos. 29: 33-43.

Reiser, D.W.; Ramey, M.P.; Wesche, T.A. 1989a. Flushing flows. In: Gore, J.A.; Petts, G.E., eds. Alternatives in regulated river management. Boca Raton, FL: CRC Press: 91-135.

- Reiser, D.W.; Wesche, T.A.; Estes, C. 1989b. Status of instream flow legislation and practices in North America. *Fisheries*. 14: 22-29.
- Richards, C.; Host, G. 1994. Examining land use influences on stream habitats and macroinvertebrates: A GIS approach. *Water Resources Bulletin*. 30: 729-738.
- Risser, R.J.; Harris, R.R. 1989. Mitigation for impacts to riparian vegetation on western montane streams. In: Gore, J.A.; Petts, G.E., eds. *Alternatives in regulated river management*. Boca Raton, FL: CRC Press: 235-252.
- Romm, J.; Bartoloni, K. 1985. New rules for national forest water. *Journal of Forestry*. 83: 362-367.
- Rosgen, D.L.; Silvey, H.S.; Potyondy, J.P. 1986. The use of channel maintenance flow concepts in the Forest Service. *Hydrological Science and Technology*. 2: 19-26.
- Sale, M.J. 1985. Aquatic ecosystem response to flow modification: an overview of the issues. In: Olson, F.W.; White, R.G.; Hamre, R.H., eds. *Symposium on small hydropower and Fisheries*; Bethesda, MD: The American Fisheries Society: 25-31.
- Sanders, L.D.; Walsh, R.G.; Loomis, J.B. 1990. Toward empirical estimation of the total value of protecting rivers. *Water Resources Research*. 26: 1345-1357.
- Schlosser, I.J. 1982. Fish community structure and function along two habitat gradients in a headwater stream. *Ecological Monographs*. 52(4): 395-414.
- Schlosser, I.J. 1991. Stream fish ecology: A landscape perspective. *BioScience*. 41: 704-712.
- Scott, D.; Shirvell, C.S. 1987. A critique of the instream flow incremental methodology with observations on flow determination in New Zealand. In: Ward, J.V.; Stanford, J.A., eds. *Regulated streams: Advances in ecology*. New York: Plenum Press: 27-43.
- Shelby, B.; Brown, T.C.; Taylor, J.G. 1992. Streamflow and recreation. Gen.Tech. Rep. RM-209. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station.
- Sheppard, J.D.; Johnson, J.H. 1985. Probability-of-use for depth, velocity, and substrate by subyearling coho salmon and steelhead in Lake Ontario tributary streams. *North American Journal of Fisheries Management*. 5: 277-282.
- Stalnaker, C.B. 1979. The use of habitat structure preference for establishing flow regimes necessary for maintenance of fish habitat. In: Ward, J.V.; Stanford, J.A., eds. *The ecology of regulated streams*. New York: Plenum Press: 321-338.

Stalnaker, C.B. 1981. Low flow as a limiting factor in warmwater streams. In: L.A. Krumholz, L.A., ed. American Fisheries Society warmwater stream symposium; Southern Division AFS: Lawrence, KS: 192-199.

Stanford, J.A.; Ward, J.V. 1992. Management of aquatic resources in large catchments: Recognizing interactions between ecosystem connectivity and environmental disturbance. In: Naiman, R.J.; ed. Watershed management: Balancing sustainability and environmental change. New York: Springer Verlag: 91-124.

Statzner, B.; Higler, B. 1986. Stream hydraulics as a major determinant of benthic invertebrate zonation patterns. *Freshwater Biology*. 16: 127-139.

Steward, C.R.; Stober, Q.J. 1985. A habitat optimization model to derive water management hydrographs for fishes. In: Olson, F.W.; White, R.G.; Hamre, R.H.; eds. Symposium on small hydropower and fisheries. Bethesda, MD: The American Fisheries Society: 231-235.

Sweetman, D.A. 1980. Protecting instream flows in Montana: Yellowstone River reservation case study. Instream Flow Information Paper 10. U.S. Fish and Wildlife Service, FWS/OBS 79(36).

Tarlock, A.D. 1978. Protection of water flows for national parks. *Land and Water Law Review*. 22: 29-48.

Tennant, D.L. 1976. Instream flow regimes for fish, wildlife, recreation, and related environmental resources. *Fisheries*. 1(4): 6-10.

Thomas, J.A.; Bovee, K.D. 1993. Application and testing of a procedure to evaluate transferability of habitat suitability criteria. *Regulated Rivers: Research and Management*. 8: 285-294.

Thorup, J. 1966. Substrate type and its value as a basis for the delimitation of bottom fauna communities in running water. In: Organism-substrate relationships in streams. Special Publication 4. Pittsburgh, PA: University of Pittsburgh, Pymatuning Laboratory of Ecology: 59-74.

Timbol, A.S.; Maciolek, J.A. 1978. Stream channel modification in Hawaii. Part A: Statewide inventory of streams: Habitat factors and associated biota. FWS/OBS78/16. Columbia, MO: U.S. Fish and Wildlife Service, National Stream Alteration Team.

Trihey, E.W.; Stalnaker, C.B. 1985. Evolution and applications of instream methodologies to small hydropower developments: An overview of the issues. In: Olson, F.W.; White, R.G.; Hamre, R.H., eds. Proceedings of the symposium on small hydropower and Fisheries. Bethesda, MD: American Fisheries Society: 176-183.

Trihey, E.W.; Wegner, D.L. 1985. Field data collection procedures for use with the physical habitat simulation system of the instream flow group. Fort Collins, CO: USDI Fish and Wildlife Service, Cooperative Instream Flow Service Group.

- USDA Forest Service. 1984. Procedure for quantifying channel maintenance flows. Forest Service Handbook FSH 2509-17. Water information management system handbook. Chapter 30.
- Van Horn, B. 1983. Density as a misleading indicator of habitat quality. *Journal of Wildlife Management*. 47: 893-901.
- Vannote, R.L.; Minshall, G.W.; Cummins, K.W. [and others]. 1980. The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 37: 130-137.
- Waite, I.R.; Barnhart, R.A. 1992. Habitat criteria for rearing steelhead: A comparison of site-specific and standard curves for use in the instream flow incremental methodology. *North American Journal of Fisheries Management*. 12: 40-46.
- Walsh, R.; Ericson, R.; Arostegy, D.; Hansen, M. 1980. An empirical application of a model for estimating the recreational value of instream flow. Water Resources Research Institute, Completion Report 101. Fort Collins, CO: Colorado State University.
- Ward, F. 1987. Economics of water allocation to instream uses in a fully appropriated river basin: Evidence from a New México wild river. *Water Resources Research*. 23: 381-392.
- Ward, J.V.; Stanford, J.A. 1993. Research needs in regulated river ecology. *Regulated Rivers: Research and Management*. 8: 205-209.
- Watson, D. 1987. Hydraulic effects of aquatic weeds in U.K. rivers. *Regulated Rivers: Research and Management*. 1: 211-227.
- Young, W.J. 1993. Field techniques for the classification of near-bed flow regimes. *Freshwater Biology*. 29: 377-383.
-

COMPARISON OF STORM DAMAGE CAUSED BY HURRICANE GEORGES
TO 24 SPECIES OF TREES

John K. Francis
Research Forester

Everyone residing in Puerto Rico on September 21, 1998 was affected in some way by Hurricane Georges. One of the most traumatic experiences was to witness the devastation of hundreds of thousands of urban trees. Not only will it take a number of years for new trees to grow and survivors to heal, but the government has had to spend huge sums for cleanup. Many have asked, "Would it not be better to plant species resistant to damage than to replant species that are doomed to be broken up in the next hurricane?" But which trees are resistant?

Most observations in the past have been only semiquantitative or confined to forest trees (Bates 1929, Lugo and others 1983, Wadsworth and Englerth 1959, Walker 1991). It is well known that tall trees are subject to greater drag

(force of wind) than short trees. This suggests reducing height by pruning, or planting only low-growing species. Restricted rooting depth by compaction or water logging and restricted side rooting caused by adjacent structures are well-known causes of tipping. Many of the tipping losses can be avoided by site analysis and careful planning before planting.

The question still remains: "Given equal environments, which species sustain greater damage and why?" In partial answer to the first part of the question, we offer the comparison given in table 1 for 24 species growing in proximity to each other and supposedly subjected to the same stresses. Please note that damage is only half the story. *Spathodea campanulata* suffered greater damage than any other species, but it has apparently had minimal mortality and

Table 1. —Percent defoliation, crown loss, and snap-plus-hrow of samples of 24 species of trees growing in or near the UPR Botanical Garden, Río Piedras, Puerto Rico caused by Hurricane Georges.

Species	d.b.h.	Mean			CL	S+T
		Height	Def.			
	cm	m		percent		
1. <i>Swietenia mahagoni</i>	28.5	10.7	70.7	22.7	0	50
2. <i>Hymenaea courbaril</i>	38.0	17.3	89.6	40.6	2	50
3. <i>Calophyllum calaba</i>	34.8	15.2	77.3	41.0	6	50
4. <i>Pinus caribaea</i>	37.2	17.7	51.8	41.8	6	50
5. <i>Melaleuca quinquenervia</i>	26.6	8.8	52.4	43.2	10	39
6. <i>Delonix regia</i>	36.3	10.9	70.2	43.8	2	49
7. <i>Lagerstroemia speciosa</i>	48.5	11.5	77.0	44.0	2	50
8. <i>Terminalia catappa</i>	46.6	14.9	86.6	46.5	2	41
9. <i>Tabebuia heterophylla</i>	23.7	10.3	73.2	47.4	4	50
10. <i>Cassia javanica</i>	43.9	10.5	87.7	47.4	10	31
11. <i>Casuarina equisetifolia</i>	54.0	20.6	62.0	49.8	4	50
12. <i>Pterocarpus macrocarpus</i>	76.4	20.7	94.5	50.7	6	50
13. <i>Bucida buceras</i>	33.6	13.4	80.7	50.7	2	50
14. <i>Enterolobium cyclocarpum</i>	113.6	17.5	87.6	50.8	9	33

Table 1. —(continued)

Species	d.b.h.	Mean				S+T
		Height	Def.	CL		
	cm	m		percent		
15. <i>Mangifera indica</i>	64.5	12.6	66.8	51.7	2	50
16. <i>Clitoria fairchildiana</i>	26.0	4.7	62.0	51.9	38	32
17. <i>Ficus benjamina</i>	68.6	9.1	56.5	52.5	30	50
18. <i>Schefflera morototoni</i>	16.4	10.1	91.3	56.4	30	50
19. <i>Albizia procera</i>	34.2	18.8	97.3	59.7	22	50
20. <i>Cecropia sherbertiana</i>	24.5	12.7	94.5	60.6	24	34
21. <i>Sterculia apetala</i>	33.1	12.9	94.9	63.7	21	34
22. <i>Peltophorum pterocarpum</i>	38.6	15.4	89.5	65.6	12	33
23. <i>Senna siamea</i>	30.3	16.2	94.9	66.5	10	50
24. <i>Spathodea campanulata</i>	41.6	16.9	98.1	81.1	34	50

Notes on procedure: d.b.h. measured by diameter tape; height is estimated prestorm height; percent defoliation was estimated from visualized normal leaf complement for that tree; percent crown loss is percentage of crown volume (space occupied by the envelope of limbs and twigs) lost, based on a visualization of former crown volume; percent snap + throw.

the species has been able to rebuild its damaged crowns very quickly.

The answer to why some species suffered more damage than others is complicated. Obviously greater strength of wood in roots, trunks, and branches imparts resistance to tipping (because of root tearing), trunk snapping, and limb breakage. However, much breakage has been observed in some species, such as *Casuarina equisetifolia* and *Clusia rosea*, that possess great wood strength. The foliage of a tree is like the sail of a ship. In heavy storms, sailors strike the sail in order to save the mast and the ship. In like manner, a tree that easily defoliates can avoid most of the drag forces of the wind. Another asset is flexibility. Trunks and limbs that flex away from the wind cause a large reduction in cross-sectional area exposed to the wind and thus reduce drag. As yet, the relative importance of these processes is unknown. To this end, we are collecting measurements of wood density (an indicator of wood strength), leaf retention strength, and resistance of branches to flexing of the same

species evaluated after the storm. We will then correlate these measurements with the damage data.

Literature Cited

Bates, C.Z. 1929. Efectos de huracán del 13 de septiembre de 1928 en distintos árboles. *Revista de Agricultura de Puerto Rico*. 23: 113-117.

Lugo, A.E.; Applefield, M.; Pool, D.J.; McDonald, R.B. 1983. The impact of Hurricane David on the forests of Dominica. *Canadian Journal of Forestry Research*. 13(2): 201-211.

Wadsworth, F.H.; Englerth, G.H. 1959. Effects of the 1956 hurricane on forests in Puerto Rico. *Caribbean Forester*. 20(3/4): 38-51.

Walker, L.R. 1991. Tree damage and recovery from Hurricane Hugo in Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. *Biotropica*. 23(4a): 379-385.

LONG-TERM AVIAN RESEARCH

Wayne J. Arendt
Research Wildlife Biologist

Disturbance-related Avian Studies in the Luquillo Experimental Forest

The year 1999 marks the 21st year of research on the Pearly-eyed Thrasher and the 10th year of monitoring forest bird populations in relation to major habitat disturbances in the Luquillo Experimental Forest. During the past two decades, in addition to the usual biological and ecological information obtained on the thrasher and other avian species, a golden opportunity to study the effects of major habitat stress on forest bird populations has presented itself. With the passing of Hurricane Hugo on September 18, 1989 and then Hurricane Georges on September 21, 1998, almost a decade later (with several less-destructive hurricanes during the interim), much insight was afforded into the physical and ecological interrelationships between birds and their forest habitat. Although general trends in the patterns of recovery for the thrasher and populations of other forest birds were similar after both Hugo and Georges, the timing and extent of recovery, as well as subsequent breeding success, suggest that the forest continues to be affected by the cumulative effects of several recent and more intense cyclonic events. For example, following Hugo, the first female thrasher in my sampled population laid its first egg on 13 April 1990 (207 days after the disturbance). Likewise, following Hurricane Georges, the first thrasher egg in the sampled population was laid on 14 April 1999 (205 days after the disturbance). There was but a 2-day difference between the initiation of breeding for both years following major habitat disturbance. In contrast, however, 100 percent of the nest-box thrasher females nested following Hurricane Hugo, whereas less than a third of the sampled population nested following

Hurricane Georges. Moreover, although reproductive success was similar to (and even a little higher than) a 10-year predisturbance average following Hurricane Hugo, reproductive success was significantly lower in the few pairs that bred during the first breeding season (1999) following Hurricane Georges. Finally, there was but a 44-day (c. 1.5 mo.) hiatus (6 August to 19 September 1990) between the first and second breeding seasons following Hurricane Hugo, whereas 146 days (almost 5 mo.) elapsed between the first and second breeding seasons following Hurricane Georges. Furthermore, as with the first breeding season (1990) following Hurricane Hugo, 100 percent of the nest-box pairs bred during the second (1991) and consecutive seasons. Yet, although it is too early to tell, as of January 12, 2000, no other nests have become active since the single pair initiated nesting on 8 December 1999. It appears that the majority of the nest pairs will not commence breeding until late January or early February. It is still unknown how many pairs will attempt to breed during this second (2000) post-Hurricane Georges breeding season.

To insure that the sampled (nest-box) thrasher population was responding in a similar fashion to thrashers nesting in tree-cavities and open-stick nests within the forest, monthly point counts were conducted and direct observations were made. Point-count results involving singing thrashers (equated to nesting pairs) coincide with observed nesting in thrasher boxes. That is, few thrashers sang during the same time period in which nest-box pairs were breeding. Although occasionally singing male thrashers are advertising for a mate, most often a singing male denotes a paired and breeding individual.

Long-term Studies in the Guánica Dry Forest

The annual mist netting and banding of Guánica's forest birds took place in January 1999, marking the 27th year of this long-term study. Continuous analysis of annual rainfall and survival rates of both resident and migratory birds has revealed that the paucity or abundance of spring rains significantly affects the survival of young resident birds, especially frugivores and nectarivores. Conversely, autumn rainfall levels affect the overall survival of residents and the abundance of both resident and migrant birds.

Puerto Rico Parrot Restoration Program

First highlighted in IITF's annual letter for 1996, a summary treating 17 years of research on a rain forest population of the Pearly-eyed Thrasher (*Margarops fuscatus*), including observations on nesting Puerto Rican Parrots (*Amazona vittata*), is soon to be published in its entirety (Arendt 2000). This research has shown that the reproductive success of thrashers, parrots, and undoubtedly other forest cavity-nesting birds, is often greatly reduced as a result of the cumulative effects of a diverse group of predators, competitors, and ectoparasites, namely: other thrashers, the Puerto Rican Screech-Owl (*Otus nudipes*), the scansorial black rat (*Rattus rattus*); the honeybee (*Apis mellifera ligustica* and *A. m. scutellata*), and a muscid botfly (*Philornis* sp.). Although egg and chick losses from nest predators and competitors accounted for less than 10 percent, botfly ectoparasitism was responsible for 56 percent of the remaining chick losses. This research not only summarizes the prevalence and intensity of nest predation and ectoparasitism but, more importantly, addresses the interaction between these two forms of biological control. Such knowledge is preeminent in managing endangered species and their biological stressors.

Assessment of Resident and Neotropical Migratory Birds in Estuarine and Coastal Forest Ecosystems on the Sabana Seca Naval Installation, with the Potential for Long-term Monitoring

Relative abundance and population trends of resident and neotropical migratory birds were assessed in limestone karst, mangrove, and *Pterocarpus* forest at the U.S. Naval Security Group Activity at Sabana Seca, Puerto Rico (NSGASS) (Arendt, unpublished report). All three forested habitats and their surrounding wetlands under the protection and management of the NSGASS were found to be exceptionally important to neotropical migrants as well as resident birds (many of which are single-island endemics). Neotropical migrants constitute more than a third of all species regularly found in mangrove and *Pterocarpus* forests. Of the 20 species of Nearctic-neotropical migrant forest birds regularly recorded in one or more of these habitats, 95 percent have been documented in mangrove forest, 70 percent in *Pterocarpus* forest, and 40 percent in karst forest. Migrants exhibit strong site persistence (individuals returning to the same place year after year), i.e., 34 percent and 30 percent of all migrants return annually to the same sites (often to the same trees) in mangrove and *Pterocarpus* forest, respectively. Karst forest is used by migrants throughout the boreal fall, winter, and early spring months (September-April) and is critical habitat during peak spring and fall migration periods. During the local breeding season, karst forest is used by the regionally threatened White-crowned Pigeon (*Columba leucocephala*) for roosting, foraging, and nesting. Coastal limestone karst forest is also very important in preserving Puerto Rico's endemic species, of which more than half (8 of 14 species) (or 9 of 16, following most-recent taxonomic revisions) not only inhabit the Activity's karst promontories, but are abundant. Moreover, monthly point-count censuses

showed that a relict, semi-endemic species, the Aledaide's Warbler (not endemic to the island, but having a very limited, disjunct distribution in Puerto Rico, St. Lucia, and Barbuda), is widespread and abundant in the Activity's remaining karst islets. Karst hillocks also constitute important habitat for one of Puerto Rico's endemic and vulnerable reptiles, the giant anole, *Anolis cuvieri*. Its status within the Activity's confines and immediate surroundings should be assessed.

In addition to the importance of preserving native and migratory wildlife, the NSGASS's karst islets were found to harbor at least three species of endemic trees. In light of the rampant destruction of coastal development taking place throughout Puerto Rico and the region, the remnant karst hillocks remaining within the protective boundaries of the naval base may soon be one of the last strongholds for the island's rapidly vanishing endemic flora.

Populations of many species of resident and migratory birds were shown to be declining. Causative factors are complex and manifold, but include the effects of numerous recent and intense cyclonic events, forest fragmentation, and a consequential increase in avian brood parasitism by the Shiny Cowbird (*Molothrus bonariensis*). Whereas little can be done to counter the effects of major habitat disturbances, e.g., hurricanes, management steps can be taken to stem the historic fragmentation and degradation of the Activity's coastal forests. Protection of the freshwater, nutrient, and sediment supplies to the two wetlands forests can be insured by minimizing alteration to streams, aquifers, and other waterways passing through the NSGASS properties. Restoration efforts similar to the ongoing *Pterocarpus* forest project

being conducted by the University of Puerto Rico, which is allocating as much space as possible for the expansion of the wetlands forests, will serve to curb currently observed repercussions of habitat fragmentation and, we hope, reverse current avian population declines.

Continuation of avian monitoring has been guaranteed, at least for a few more years, through the participation of Manuel Figueroa of Geo-Marine, Inc., a Texas-based engineering and environmental services organization, that has been contracted by the U.S. Navy to conduct an integrated natural resource management plan for the NSGASS. If further monitoring results indicate the necessity, a variety of management steps to abate and reverse the observed avian population declines—for example, curbing cowbird numbers in and around these crucial forest ecosystems—should be put into effect immediately.

Literature Cited

- Arendt, W.J. (unpublished report). Assessment of Puerto Rico's neotropical migratory birds in estuarine and coastal forest ecosystems on the Sabana Seca Naval Installation (NSGASS), with the potential for long-term monitoring. Final Report submitted September 21, 1999. On file with U.S. Naval Security Group Activity at Sabana Seca, Puerto Rico.
- Arendt, W.J. 2000. Impact of nest predators, competitors, and ectoparasites on Pearly-eyed Thrashers, with comments on the potential implications for Puerto Rican Parrot recovery. *Ornitología Neotropical* 11: 1-51 (January 2000).

GENETIC RESOURCES IN MAHOGANY AND SPANISH CEDAR

Sheila Ward
Research Ecologist

The emphasis of my research this last year was on mahogany. As the U.S. Coordinator and Cooperating Scientist for Foreign Agricultural Service (FAS) grants with Centro Agrónomico de Investigación y Enseñanza (CATIE) and International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF), I have been working with scientists in Mexico and Costa Rica on the genetic conservation and improvement of mahogany and Spanish cedar in the Yucatan and in Central America. These species are under heavy use in the Neotropics. We hope to guarantee genetic diversity for the future, and to provide improved material for community reforestation and agroforestry projects. Seed collections have been completed, and all trials planted out for both species at different locations. I am also working with CATIE on an FAS-funded project to extend mahogany seed collections to South America. IITF is developing a network of long-term plots to monitor mahogany growth throughout its distribution. IITF is also developing mechanisms, including a web page, for the interchange of mahogany research and other information concerning the species. Visits to Bolivia, Mexico, Costa Rica, and Belize yielded information for these different projects.

A provenance study of mahogany that was established by IITF in the 1960's continues to provide critical information about mahogany genetic resources and other issues. Between 1964 and 1965, trials of 20 provenances of the three species of mahogany were established at 14 different sites ranging from dry to wet

subtropical forest in Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands. We have relocated all of these old sites and re-identified trees by their provenance and family of origin. We have completed a collection of material for genetic comparisons via isozyme electrophoresis and DNA analysis. Relative genetic diversity will be compared, and relationships will be evaluated among the source populations. This information, along with other genetic data bases for the mahoganies, will be used in strategies of genetic conservation. We are also nearing completion of a wood density study of the remaining trees, to compare genetic and environmental components of wood density. This should help focus attempts to improve or assure wood quality in mahogany.

Another project is the relationship of forest dynamics to land-use history in the Caribbean National Forest. A series of numerous, small, long-term plots at four distinct locations were established by IITF in the Forest in the late 1950s to monitor forest succession under different initial conditions and different types of forest management. We are using GPS to locate the plots in relation to land-use maps, and preparing plot measurements for making the analyses.

As a result of my efforts during the last three summers to employ students with disabilities, this Fall I received the Super Supervisor Award from the Association for Persons with Disabilities in Agriculture.

ECOLOGY AND GROWTH OF BIG-LEAF MAHOGANY (*Swietenia macrophylla* King) ACROSS CLIMATIC AND EDAPHIC GRADIENTS THROUGHOUT ITS NATIVE RANGE

Julio C. Figueroa Colón
Ecologist

Big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla*) is one of the most commercially important, and widely studied, of neotropical tree species. Matters of taxonomical ambiguity, ecological variability, and economic importance all combine to make this species the target of interest groups that span the entire scientific, economic, and conservation spectrum. Matters concerning the species' status in the wild, levels of extraction and commercial trade, amenability to sustainable management practices, and its present and future conservation have all come under close scrutiny and debate.

Much of this scrutiny and interest has resulted from the recent (and as yet unsuccessful) efforts to have the species listed in Appendix II of the Convention on International Trade in Endangered Species (CITES). The attention has also resulted in the initiation of numerous new research projects on the species. The International Institute of Tropical Forestry is directly involved in the support of new research into aspects of the species' ecology, genetics, and regeneration. This particular effort seeks to study the effects of environmental gradients on the structure and dynamics of natural populations throughout the species' range. The aim is to select study sites that will allow the sampling of natural mahogany populations that characterize selected combinations of climate and soil type, representing extremes within the natural range of the species. Experimental design is based on the establishment of 25 ha blocks at each site. Blocks are subdivided into 25 individual 1 ha plots where all mahoganies are measured for d.b.h., total height, and canopy

crown class. The precise geographical position of all tallied mahoganies is also documented. Stand structure, regeneration, and growth will be assessed at the plots over time. Data compiled from this study will provide researchers and managers alike—and for the first time—a complete assessment of the species' population structure and growth over the wide environmental (climate and soils) gradient within which it occurs. This network of permanent, globally referenced plots will produce a cooperative, multinational commitment to the long-term study of the species. The network will also provide a unique framework for additional research into the ecology, genetics, and management of these ecosystems.

An experimental block was established in August 1999 within the San Felipe de Bacalar Experiment Station, Bacalar, Quintana Roo, Mexico. The site is located roughly at lat. 18.5° N and long. 88°. Mean annual temperature at the site is 25.9 °C. Mean annual precipitation is 1300 mm with a pronounced dry season from October to February. The geological parent material at the site is calcareous and the topographical relief is flat (10 to 30 m).

The study area was laid out in a 500 by 500 m block and "permanent" PVC markers placed at 100 m intervals, thereby subdividing the area into twenty-five 1 ha plots. The four corner markers were globally positioned (GPS) and registered. All mahoganies within the 25 ha study block with a d.b.h. ≥ 10.0 cm were measured for d.b.h., total height, and crown canopy position. Diameter measurement points were marked with paint, and unique number tags

affixed to each tree in order to assure proper identification for future remeasurement. Mahogany regeneration (all stems with d.b.h. \geq 1.0 cm and less than 10.0 cm) was sampled at two levels within the block. Sapling-size regeneration (all stems with d.b.h. \geq 5.0 cm and less than 10.0 cm) was sampled in five, randomly selected, 1 ha plots. Seedling-size regeneration (all stems with d.b.h. \geq 1 cm and less than 5.0 cm) was sampled in twenty five, 400 m² subplots (20 by 20 m, located randomly within each selected 1 ha plot; five per plot). All mahoganies tallied in the regeneration sample were also measured for d.b.h. and total height. The precise geographic position of all tallied mahogany stems within the entire 25 ha study block was recorded, and a map with their

relative positions within the block was prepared. A total of 377 mahoganies, with a d.b.h. \geq 10.0 cm, were tallied in the 25 ha block for an average of 15.1 trees per ha. Density of individuals was similar to that reported for natural forest mahogany elsewhere. Large, commercial-size trees (d.b.h. \geq 80.0 cm) averaged 1 per ha, which also mirrors the average reported from across the entire distributional range of the species. Regeneration averaged 19 seedlings per ha and 11 saplings per ha. Basal area per hectare averaged 1.93 m², 0.2418 m², and 0.0457 m² for trees, saplings, and seedlings, respectively.

Two additional study sites are programmed for this fiscal year.

STATE AND PRIVATE FORESTRY ACCOMPLISHMENTS

Robin Morgan
Silviculturist

Investment in State's Cooperative Programs

	FY 2000 Federal	FY 2000 State	FY 2000 Federal Estimate	FY 2000 State Estimate
Cooperative Fire Protection-State Assistance	\$70,272	\$70,272	\$70,272	\$70,272
Cooperative Fire Protection-Volunteer Assistance	\$14,783	\$14,783	\$14,783	\$14,783
Forest Stewardship Program	\$62,696	\$62,692	\$62,692	\$62,696
Economic Action Programs	\$10,000	\$10,000	\$10,000	\$10,000
Natural Resource Conservation Education	\$4,000	\$4,000	\$4,000	\$4,000
Urban and Community Forestry	\$160,000	\$160,000	\$160,000	\$160,000

STATE AND PRIVATE FORESTRY IN THE U.S. VIRGIN ISLANDS

The cooperative programs are administered and implemented through a partnership between the Government of the U.S. Virgin Island, the USDA Forest Service, and many other private and government entities. These programs promote the health and productivity of the USVI's forest lands and rural economies. Emphasis focuses on timber and other forest products, wildlife, water resources, rural economies, and conservation practices. The goal is to maintain and improve the health of urban and rural forests and related economies. These programs:

- Reduce costs through the use of partnerships,
- Increase values through sustained productivity of forests,
- Facilitate synergism between traditional and nontraditional partners, and
- Are voluntary and nonregulatory in their delivery.

Key issues that the territory will address in implementing the 2001 budget include:

- Urbanization and sprawl into natural areas,
- Ecological restoration of natural and built-up areas,
- Soil protection and watershed management,
- Sustainable urban forestry program, and
- Creation of jobs and income utilizing natural-resource-based opportunities.

The USVI has 21,324 acres of privately owned forest land and 140 acres of experimental forest. Of the estimated 1,000 individuals owning forest lands, most have parcels less than 20 acres in size. Almost all of these landowners report that agriculture and aesthetics are primary reasons for owning forest land. The territory's 150,000 people include 44 communities with populations over 100; 41 percent these have initiated some level of community forestry program.

Forest Facts and 2000 Accomplishments

Selected Facts		Selected Results	
Population	150,000	Stewardship Plans Prepared (current year)	12
Acres of Forest Land	21,324	Area Under Stewardship Plans (current year)	180
Acres of Non-Industrial Private Forest Land	13,824	Area Under Stewardship Plans (all years)	180
Number of NIPF Landowners	1,000 (est.)	Rural Acres Planted	0
Acres of Federal Land Under State Fire Protection	7,500	Technical Assists to Private Landowners	20
Acres of Private Land Under State Fire Protection	13,824	Rural Fire Departments Assisted	
Number Rural Fire Departments	0	Rural Fire Department Volunteers Trained	0
Number of Cities and Towns	44	Acres Surveyed for Forest Health	13,824
Forest Based Employment	none	Forest Health Assistance visits	20
Forest Based Earnings	Very litter	Cities and Urban Areas Assisted	29
State Forestry Budget	\$32,750	Technology transfer and Workshops	360 hrs.

PROGRAM HIGHLIGHTS

Urban and Community Forestry

The urban and community forestry assistance program is well positioned to confer benefits to the people of the Virgin Islands. The program inspires hope in the community through the activities of grant subrecipients and motivated citizens. The traditional tendency to top trees at the approach of a hurricane is deeply rooted. This program seeks to address these concerns at the local level by offering training opportunities and technical assistance in proper tree management.

Cooperative Fire Protection

The entire territory can be classified as an urban/wildland interface. In this island environment there are very few rivers, no lakes, and a limited number of fire hydrants. Variable trade winds, fuel buildup associated with dry tropical forests, narrow and steep roads, and difficult building entrances all combine to create a wildlife challenge. The VI Fire Service

is working with the VI Department of Agriculture and Cooperative Extension Service to prepare a Wildfire Protection Assessment.

Forest Stewardship

Matching natural resource professionals with farmers and other landowners is expanding the vision for forest stewardship opportunities in the territory. Recognizing the importance of protecting habitat for wildlife, soil for water quality, and aesthetics for tourism and economic development changes the way people view the opportunities and their responsibility for a healthier island.

Forest Health Protection

The Pink Hibiscus Mealybug has infested all acreage in all three of the Islands (St. Croix, St. Thomas, and St. John). Damages are also reported from bark beetles, aphids, white flies, caterpillars, wilt, shoot borers, hurricanes, and construction stress. The Department of Agriculture is working closely with the University of the Virgin Islands to assess the health of all forest communities in the islands.

Economic Action

The VI Resource Conservation and Development Council is an active partner in delivering the economic action program. Supporting the existing resources for helping established and newly developed business, the Council strives to increase job and income opportunities that utilize the islands' natural resources.

Natural Resource Conservation Education

The VI ReLeaf program addresses the territory's need for new tree planting, tree care informa-

tion, and education. Lack of an organized governmental tree care policy or land-use planning allows tree removal without replacement, and improper or neglected care of trees on public lands. VI ReLeaf provides trees for schools, benefiting at least 2,000 students annually. The Trees for Schools program teaches students the benefits of trees and their proper care, thus encouraging greater pride in the schools and the islands.

Investment in State's Cooperative Programs

	FY 2000 Federal	FY 2000 State	FY 2000 Federal Estimate	FY 2000 State Estimate
Forest Health Protection	\$21,000	\$21,000	\$21,000	\$21,000
Cooperative Fire Protection-State Assistance	\$75,000	\$75,000	\$75,000	\$75,000
Cooperative Fire Protection-Volunteer Assistance	\$15,000	\$15,000	\$15,000	\$15,000
Forest Stewardship Program	\$78,000	\$78,000	\$78,000	\$78,000
Forest Legacy Program	\$1,950,000	\$1,000,000	\$500,000	\$1,000,000
Economic Action Programs	\$76,000	\$76,000	\$76,000	\$76,000
Natural Resource Conservation Education	\$4,000	\$4,000	\$4,000	\$4,000
Urban and Community Forestry	\$163,000	\$163,000	\$163,000	\$163,000

**STATE AND PRIVATE FORESTRY IN
PUERTO RICO**

The cooperative programs are administered and implemented through a partnership between the Government of Puerto Rico, the USDA Forest Service, and many other private and government entities. These programs promote the health and productivity of Puerto Rico's forest lands and rural economies. Emphasis focuses on timber and other forest products, wildlife, water resources, rural economies, and conservation practices. The goal is to maintain and improve the health of urban and rural forests and related economies. These programs:

- Reduce costs through the use of partnerships,
- Increase values through sustained productivity of forests, and
- Are voluntary and nonregulatory in their delivery.

Key issues that Puerto Rico will address in implementing the 2001 budget include:

- Rapid urbanization and sprawl into natural areas,
- Water quality, including storm water runoff, and restoration of natural areas,
- Soil protection and watershed management,

- Sustainable urban forestry programs at the local level, and
- Creation of jobs and income utilizing natural-resource-based opportunities.

Puerto Rico has nearly 700,000 acres of privately owned forest land and 28,000 acres of National Forests. Of the 368,668 individuals owning forest lands, most have parcels less than

20 acres in size. Almost all of these landowners report that conservation, esthetic enjoyment, and recreation are primary reasons for owning forest land. The territory's 3.8 million people include 78 municipalities; many with populations over 100. All have initiated some level of community forestry program.

Forest Facts and 2000 Accomplishments

Selected Facts		Selected Results	
Population	3.8 million	Stewardship Plans Prepared (current year)	13
Population density, people per square mile	1,000 people	Area Under Stewardship Plans (current year)	458
Extent of protected lands	< 5%	Technical Assists to Private Landowners	2,989
Acres of Forest Land	709,177 acres	Technical Assists to Private Landowners	59
Acres of Non-Industrial Private Forest Land	689,409	Rural Fire Departments Assisted	Not applicable
Number of NIPF Landowners	368,668	Rural Fire Department Volunteers Trained	Not applicable
Acres of Federal Land Under State Fire Protection	0	Acres Surveyed for Forest Health	2200
Acres of Private Land Under State Fire Protection	2,198,400	Forest Health Assistance visits	144
Number Rural Fire Departments	0	Cities and Towns Assisted	1704
Number of Municipalities	78	Economic Action Grants to Rural Areas	5
State Forestry Budget	10,000,000	Technology transfer and Workshops	
		seed hours	3,747,87

PROGRAM HIGHLIGHTS

Urban and Community Forestry

The "Sembrando por Puerto Rico" project is a major reforestation program undertaken by the central government in Puerto Rico. It is a vehicle being used to promote collaboration and community action in the planting and care of trees in urban areas, and a means for delivering technical assistance. It has effectively reached into every municipality on the island and has involved more than 19,000 volunteers.

Cooperative Fire Protection

The "Bomberos" (PR Fire Service) are implementing an aggressive campaign to ensure that all firefighters in areas prone to wildfire have personal protection equipment, and other tools and equipment for safety during wildfire protection and suppression efforts.

Forest Stewardship

Through the "Sembrando por Puerto Rico" project this past year, 11,188 hispanic landowners become active in reforestation and

management activities on privately owned forest land. The Department of Natural Resources has legislated budget support to provide \$500,000 per year in incentives for tree planting and management for purposes of conservation and timber production.

Forest Health Protection

"A Guide for the Identification of Damage Caused by Insects to Trees in Puerto Rico" was developed and distributed by the University of Puerto Rico in collaboration with local forestry professionals. Technical assistance was given to State and Federal agencies, urban and rural landowners, farmers, and nurserymen throughout the island.

Economic Action

Because of tremendous population pressure on the island's natural resources, jobs and income

using the resources in a sustainable fashion rather than totally exploiting them is a high priority. Through the Rural Community Assistance programs, a very strong ecotourism network and local community planning have been facilitated.

Natural Resource Conservation Education

The "Sembrando por Puerto Rico" project has an ambitious educational component that offers to the participants printed materials written in Spanish (fact sheets and a manual for school children), planting materials, and technical and organizational assistance for school planting projects. In addition, two high schools are implementing an educational reform effort using their neighborhood urban forests to study the effects of trees on temperature, water quality, soil composition, and social interaction.

FOREST CANOPY DAMAGE AND RECOVERY COMPARED IN REDUCED-IMPACT VERSUS CONVENTIONAL SELECTIVE LOGGING IN EASTERN PARÁ, BRAZIL

Michael Keller
Research Physical Scientist

INTRODUCTION

Selective harvesting of timber is an important land use in forested areas throughout the humid Tropics. Nepstad and others (1999) estimated that approximately 10,000 to 15,000 km² per year were affected in the period 1996 to 1997 in the Brazilian Legal Amazon region. Selective logging leads to a variety of short- and long-lived effects, including changes in the light regime and forest microclimate, erosion, soil compaction, disruption of nutrient cycling, and possibly long-term changes in tree species composition (McNabb and others 1997, Brouwer 1996). These changes can affect the recruitment of timber species and the diversity of forest fauna (Pinard and others 1996, Hill and others 1995). Through modification of the understory microclimate and supply of fuel, selective logging increases the susceptibility of forests to fire (Uhl and Kauffman 1990; Nepstad and others 1999, Cochrane and Schulze 1999).

Reduced-impact logging (RIL) practices significantly limit damage compared to conventional logging practices. The basic concepts of reduced-impact logging have been compiled in many publications including a manual distributed by the Food and Agriculture Organization (FAO 1996). The components of the RIL approach for Amazon Basin forests have been summarized by Uhl and others 1997 as: (1) inventory and mapping in order to reduce waste during logging; (2) planning of roads and skid trails to minimize ground disturbance; (3) vine cutting 1 year prior to harvest to eliminate damage to neighbors of harvest trees; (4) planned directional cutting and bucking to minimize damage to neighboring trees and reduce waste

in harvest trees; and (5) planned extraction to minimize equipment time during skidding. These practices may be complemented by silvicultural treatments to improve the long-term prospects for forest stand.

Few studies have quantified the effects of selective logging on tropical forest canopies. Information on the canopy effects of logging should be useful for understanding effects on forest fauna, microclimate changes, and physiological responses. Understanding canopy damage and recovery should also be useful for the interpretation and detection of logging using remote sensing. We investigated canopy damage and recovery following logging at conventional and RIL sites in the Eastern Amazon of Brazil.

SITE DESCRIPTION

We conducted our studies at the Fazenda Cauaxi in the Ulionopolis Municipality of Para State, Brazil. The Tropical Forest Foundation maintains a logging camp and training center for demonstration of forest management and RIL techniques at this site (S 3° 43.378' W 48° 17.438'). Training courses, demonstrations and research activities have been conducted there since 1995 with the collaboration of the property owners. There is no historical record of land use or collection of nontimber forest products prior to current logging operations, although there are indicators of indigenous activity. Ranchers and loggers first entered the area in 1976 through the Río Capim and the Río Surubiju. No roads existed in the area until the 1980's.

The climate at Fazenda Cauaxi is humid tropical. Total annual precipitation averages about 2220 mm. A dry season extends from July through November (generally < 50 mm per month), although June and December are also frequently dry enough for logging operations. Soils in the area are classified mainly as dystrophic yellow latosols according to the Brazilian system. The topography is mainly flat to mildly undulating. The forest at Fazenda Cauaxi is classified as tropical dense moist forest. The most common timber species harvested during 5 years of forest operations are *Licania* sp., *Manilkara huberii*, *Astronium lecointei*, *Eschweilera odorata*, and *Parkia* spp. Stand basal area is approximately 57 m² per ha for trees greater than 10 cm diameter at breast height (d.b.h.).

We studied four logged blocks and a minimally disturbed natural forest area (500 by 1000 m). One conventional and one RIL block were logged in each of 1996 and 1998. Both 1996 blocks were about 100 ha (approximately 1000 by 1000 m). The RIL block for 1998 covered about 57 ha and the conventional block for 1998 covered only about 14 ha.

Logging Practices

Forests in the region of the Fazenda Cauaxi are speciose although a limited number of species (approximately 50 in 1995) were marketable in the region. Therefore, loggers practice single-tree selection. In conventional practice, woodsmen identified harvest trees. They were followed by sawyers who felled and bucked the trees. In many cases, a sawyer rather than a woodsman also selected trees for harvest. The sawyers were in turn followed by operators who prepared roads and decks, skidded logs, and loaded logs for transport. In conventional operations at Fazenda Cauaxi, a crawler tractor without a winch (Caterpillar D-6) was used for road and log deck construction as well as for skidding.

In contrast to conventional practice, RIL practice employed a preharvest operation where blocks were laid out and inventoried, roads were planned and built, and vines were cut for harvest trees about one year prior to harvest. Data from inventories were processed and tree location maps were prepared during the rainy season. Prior to harvest, crews marked trees and then planned and marked skid trails. Maps indicated preferred felling directions. Trained sawyers felled trees using directional techniques according to the plans whenever possible. Logs were skidded with a wheeled skidder using a grapple and winch (Caterpillar 525).

Evaluation of Logging Effects and Canopy Damage

Both conventional and RIL areas were reinventoried and mapped by foresters and technicians from the Fundacao Floresta Tropical, who recorded the number of trees felled and the total geometric volume skidded from the forest. Road, log deck, and skid lengths and areas were measured and mapped using fiberglass measuring tape and compass. Road, skid, and log deck widths were also measured with a measuring tape at 50-m intervals. Tree locations, road, skid, and log-deck data were transferred to paper maps at a scale of 1:1000. The maps were later digitized in Arc/Infor and geo-rectified using field Global Positioning System measurements acquired with a Garmin GPS 2+ receiver. Areas for 1996 harvest were calculated directly from field measurements. For the 1998 harvest, we used digitized mapped data to calculate road, skid, and deck areas. Errors introduced by hand-drawn mapping and digitalization were adjusted using field data.

We measured canopy gap fraction using the LAI-2000 instrument (LiCor, Inc.) at -0.5 m above the ground surface. Occasionally, when our randomly selected sampling point fell on top of a fallen log greater than 0.5 m diameter, we

measured from the top surface of the log. Gap fraction (range 0 to 1) is defined simply as the proportion of the hemisphere above the instrument that has a clear view of the sky (no interfering plant canopy). While this LAI-2000 instrument is most often used to report leaf area index (LAI), we chose to report gap fraction, the basic measurement of the instrument. LAI is calculated based upon gap fraction and a model of leaf distribution. Leaf distribution is highly irregular in logged plots, and therefore may not be well quantified using the standard models. Because the LAI-2000 instrument integrates over a full hemisphere, we used an appropriate shield (90° field of view) over the instrument lens to avoid viewing the operator. We restricted our measurements to early mornings and late evenings (low sun angle) or to times when cloud cover was relatively uniform.

Gap fraction measurements were stratified according to landscape units. We divided the logged forests into four landscape categories: (1) roads and log decks; (2) skid trails; (3) treefalls; and (4) undisturbed areas. For roads and decks we made measurements on randomly selected transects. Each transect began at the edge of a log deck and ran for 100 m along the road. Sub-samples were taken at 10 m intervals and averaged. These subsamples were normalized to background clear sky measurements acquired immediately before and after the transect. For skid trails we again selected random points and followed the same procedure, but the transect always began at least 20 m from a log deck. For treefalls, random trees were selected from the harvest maps. The sampling transect began in the center of the canopy gap, and ran for 100 m along a randomly selected radius. Gap fraction measurements for undisturbed forest were acquired in the 50 ha control plot along randomly selected 100 m transects.

Preliminary Results and Discussion

The ground effects of logging are reported in table 1. As a proportion of total area, conventional practice at Cauaxi caused nearly twice as much ground-level damage. The distinction is particularly marked in the area of skid trails. Planning and marking skid trails is an effective method for minimizing ground disturbance. Given that the effects of ground disturbance on soil physical and chemical properties (and presumably on forest regeneration) are long-lasting (McNabb and others 1997), RIL practices have the potential to substantially improve the prospects for future forest production compared to conventional practice.

At the level of the canopy, both RIL and conventional logging produce notable disturbance. In undisturbed forest at Cauaxi we measured a mean (\pm standard deviation) canopy gap fraction of 0.013 (\pm 0.010). Canopy gap fraction for three sampling strata in the forest for 2 years and two levels of logging impact are displayed in table 2. Regardless of treatment and stratum, all the logging areas sampled had a greater canopy gap fraction than the intact forest. However, in each year, conventional treatments always had a greater gap fraction than the paired RIL treatment. Compared within treatment type, canopy gap fraction declined with time elapsed since logging. As expected, the 1996 treatments have lower gap fractions by sampling stratum than the 1998 treatments.

Integrated over the area of the study areas, conventionally logged areas will have a far greater proportion of canopy disturbance. The intensity of disturbance is greater in conventionally logged treatments compared to RIL treatments. Moreover, the extent of disturbance is nearly twice as great in conventional treatments (table 1). As this work continues, we plan to estimate area-integrated canopy disturbances, using the GIS created for this study area.

My future work with partners from the Tropical Forest Foundation and the University of Colorado on the question of logging disturbance to the canopy will quantify the impact of disturbance in a greater number of plots and over a longer elapsed time since disturbance. This ground-based work will serve as preparation for the interpretation of satellite imagery of logged forest. Currently, logging estimates are made using ground-based surveys of sawmills (e.g., Nepstad and others 1999). These surveys are expensive and subject to many assumptions as well as the biases introduced in interviews with mill owners and managers. While these biases may be corrected in data analysis, we aim to develop an independent method for estimating logging area, using future satellite imagery. Understanding the changes in forest canopy structure is critical for interpretation of future remotely sensed data.

ACKNOWLEDGMENTS

This article describes a work in progress by Rodrigo Pereira Junior, Johan Zweede, Casey Codey and Greg Asner. I thank the National Aeronautics and Space Administration (NASA's) Terrestrial Ecology Program and the Tropical Forest Foundation for support.

Literature Cited

Brouwer, C. Leo. 1996. Nutrient cycling in pristine and logged tropical rain forest: a study in Guyana. Tropenbos-Guyana Series 1. 224 p.

Cochrane, M.A.; Schulze, M.D. 1999. Positive feedbacks in the fire dynamic of closed canopy tropical forests. *Science Magazine*. 284: 1832-1835.

FAO. 1996. Forest codes of practices: contributing to environmentally sound forest operations. FAO Forestry Paper 133. 132 p.

Hill, J.K.; Hamer, K.C.; Lace, L.A.; Banham, W.M.T. 1995. Effects of selective logging on tropical forest butterflies on Buru, Indonesia. *Journal of Applied Ecology*. 32: 754-760.

McNabb, K.L.; Miller, M.S.; Lockaby, B.G. [and others]. 1997. Selection harvests in Amazonian rainforests: long-term impacts on soil properties. *Forest Ecology and Management*. 93: 153-160.

Nepstad, D.C.; Verissimo, A.; Alencar, A. [and others]. 1999. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. *Nature*. 398: 505-508.

Pinard, M.; Howlett, B.; Davidson, D. 1996. Site conditions limit pioneer tree recruitment after logging of dipterocarp forests in Sabah, Malaysia, *Biotropica*. 28: 2-12.

Uhl, C.; Barreto, P.; Verissimo, A. [and others]. 1997. Natural resource management in the Brazilian Amazon. *BioScience*. 47: 160-168.

Uhl, C.; Kauffman, J.B. 1990. Deforestation, fire susceptibility, and potential tree responses to fire in the eastern amazon, *Ecology*. 7: 437-449.

A. Recent Publications of the International Institute of Tropical Forestry
(Numbers indicate reprints available for distribution).

Publicaciones recientes del Instituto Internacional de Dasonomía Tropical Forestal
(Números indican disponibilidad de separatas para distribución).

- 001 Alemañy-Merly, S.E. 1999. *Magnolia portoricensis* Bello. Jaguilla. Magnoliaceae, Magnolia family. SO-ITF-SM-88. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 6 p.
- Álvarez Ruiz, M. 1995. Ecología de uniones de árboles: *Dacryodes excelsa* en el Bosque Experimental de Luquillo. Acta Científica. 9(2-3): 131-134.
- Arendt, W. 1997. Contemporary and historical range of the Pearly-eyed Thrasher, emphasizing the Greater Antilles and the Bahamian archilepago. El Pitirre. 10(1): 20-21.
- Arendt, W.J. 1997. History and subspeciation of the Pearly-eyed Thrasher, emphasizing *Margarops fuscatus bonariensis* in the Netherlands Antilles. El Pitirre. 10(3): 103.
- Baroni, T.J.; Lodge, D.J.; Cantrell, S.A. 1997. Tropical connections: sister species and species in common between the Caribbean and the eastern United States. McIlvainea. 13(1): 4-19.
- 002 Bauer, G.P.; Francis, J.K. 1998. *Swietenia macrophylla* King. Honduras mahogany, caoba. Meliaceae, Mahogany family. SO-ITF-SM-81. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 7 p.
- 003 Benstead, J.P.; March, J.G.; Pringle, C.M.; Scatena, F.N. 1999. Effects of a low-head dam and water abstraction migratory tropical stream biota. Ecological Applications. 9(2): 656-668.
- Berriós Sáez, A. 1998. Evaluación de los recursos naturales del bosque estatal de Cambalache, Puerto Rico, y el desarrollo de un plan estrategico para su manejo sostenible. Río Piedras, PR: Universidad Metropolitana: 191 p. + appendixes. M.S. thesis in Environmental Management.
- 004 Cuevas, E.; Lugo, A.E. 1998. Dynamics of organic matter and nutrient return from litterfall in stands of ten tropical tree plantation species. Forest Ecology and Management. 112(3): 263-279.
- Dale, V.H.; Lugo, A.E.; MacMahon, J.A.; James, A.; Steward, T.A. 1998. Ecosystem management in the context of large, infrequent disturbances. Ecosystems. 1(1): 546-557.

Dallmeier, F.; Comiskey, J.A.; Scatena, F.N. 1998. Five years of forest dynamics following Hurricane Hugo in Puerto Rico's Luquillo Experimental Forest. In: Dallmeier, F.; Comiskey, J.A., eds. Forest biodiversity in North, Central, and South America, and the Caribbean: research and monitoring. Man and the Biosphere Series. J.N.R. Jeffers (series ed.). Paris: UNESCO and the Parthenon Publishing Group. 231-248. Vol. 21.

Devendra, C.H. 1999. Rainfall interception modeling study for a tropical forest in Puerto Rico. Delft, The Netherlands: IHE (International Institute of Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering): sectionally numbered. [Not paged]. M.S. thesis.

005 Domínguez Cristóbal, C.M. 1995. Reseña histórica del bosque de Maricao afuera durante los años de la dominación española en Puerto Rico. *Acta Científica*. 9(2-3): 83-88.

Domínguez Cristóbal, C.M. 1998. Panorama histórico de la presencia de la flora en las plazas públicas de los pueblos de Puerto Rico. *Iconos*. 2(16): 26-31.

Foster, D.R.; Fluet, M.; Boose, E.R. 1999. Human or natural disturbance: landscape-scale dynamics of the tropical forests of Puerto Rico. *Ecological Applications*. 9(2): 555-572.

006 Francis, J.K. 1999. Especies forestales para plantar en áreas forestales, rurales y urbanas de Puerto Rico. Gen. Tech. Rep. IITF-13. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 88 p.

007 Francis, J.K.; Alemañy, S.; Liogier, H.A.; Proctor, G.R. 1998. The flora of Cañon de San Cristóbal, Puerto Rico. Gen. Tech. Rep. IITF-4. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 37 p.

Frangi, J.L.; Lugo, A.E. 1998. A flood plain palm forest in the Luquillo Mountains of Puerto Rico five years after Hurricane Hugo. *Biotropica*. 30(3): 339-348.

García Martinó, A.R.; Scatena, F.; Moya, S. [and others]. 1998. Monthly summary of climatological data at the Bisley experimental station watershed. October 1998: 2 p.

García Martinó, A.R.; Scatena, F.; Moya, S. [and others]. 1998. Monthly summary of climatological data at the Bisley experimental station watershed. November 1998: 2 p.

García Martinó, A.R.; Scatena, F.; Moya, S.; Estrada, C.; Torrén, C.; Santiago, M.; Guzmán, G. 1998. Monthly summary of climatological data at the Bisley experimental station watershed. December 1998: 2 p.

García Martinó, A.R.; Scatena, F.; Moya, S.; Estrada, C.; Torrén, C.; Santiago, M.; Guzmán, G. 1998. Monthly summary of climatological data at the Bisley experimental station watershed. January 1999: 2 p.

- Genaro, J.A.; Torres, J.A. 1999. Redescrición de la hembra y descripción del macho de *Pseudomethoca argyrocephala* (Hymenoptera: Mutillidae). *Caribbean Journal of Science*. 35(1-5): 153-155.
- González, G.; Zou, X.; Sabat, A.; Fetcher, N. 1999. Earthworm abundance and distribution pattern in contrasting plant communities within a tropical wet forest in Puerto Rico. *Caribbean Journal of Science*. 35(1-2): 93-100.
- Hyhndorf, S.M.; Lodge, D.J. 1997. Host specificity among wood-inhabiting pyrenomycetes (Fungi, Ascomycetes) in a wet tropical forest in Puerto Rico. *Tropical Ecology*. 38(2): 307-315.
- Johnson, S.L.; Covich, A.P.; Crowl, T.A.; Estrada-Pinto, A.; Bithorn, J.; Wurtsbaugh, W.A. 1998. Do seasonality and disturbance influence reproduction in freshwater atyid shrimp in headwater streams, Puerto Rico. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 26(May): 2076-2081.
- 008 Kjerve, B. 1998. CARICOMP - Caribbean coral reef, seagrass and mangrove sites. Coastal Region and Small Island Papers 3. Paris: UNESCO. 345 p.
- Larsen, M.C.; Torres-Sánchez, A.J. 1998. The frequency and distribution of recent landslides in three montane tropical regions of Puerto Rico. *Geomorphology*. 24: 309-331.
- Leigh, L.S. 1999. The basis for rainforest diversity and biosphere 2. Gainesville, FL: University of Florida. 342 p. Ph.D. dissertation.
- López, T.D.M.; Mitchell, T.A.; Scatena, F.N. 1998. The effect of land use on soil erosion in the Guadiana watershed in Puerto Rico. *Caribbean Journal of Science*. 34(3-4): 298-307.
- Lugo, A.E. 1998. Biodiversity and public policy: the middle of the road. In: Guruswamy, L.D.; McNeely, J.A., eds. *Protection of global biodiversity: converging strategies*. Durham, NC: Duke University Press. 33-45.
- Lugo, A.E., ed. 1998. Annual Letter 1995-96. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 98 p.
- Lugo, A.E. 1999. [Book review] A history of the ecosystem concept in ecology; more than the sum of the parts. Golley, Frank B., ed. *Ecological Economics*. 28(3): 467-468.
- 009 Lugo, A.E. 1999. Point-counterpoints on the conservation of big-leaf mahogany. Gen. Tech. Rep. WO-64. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 21 p.

- Lugo, A.E. 1995. Biology in the era of biodiversity. *Acta Científica*. 9(2-3): 125-127.
- Lugo, A.E. 1995. Comparison of island and continental ecosystems with a focus on disturbance. *Acta Científica*. 9(2-3): 129-130.
- Lugo, A.E. 1995. Ecología histórica. *Acta Científica*. 9(2-3): 123-124.
- Lugo, A.E., ed. 1995. *Acta Científica*. 9(2-3): 138 p.
- 010 Lugo A.E.; García Martinó, A. 1996. Cartilla del agua para Puerto Rico. *Acta Científica*. 10(1-3): 89 p. [Special issue].
- 011 Lugo, A.E.; Mastrantonio, L. 1999. Institute of Tropical Forestry: the first fifty years. Gen. Tech. Rep. IITF-GTR-7. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 56 p.
- Lugo, A.E.; Brown, S. 1998. Los trópicos pueden sobrevivir. *Tierramérica*. 4(1): 6-7.
- March, J.G.; Benstead, J.P.; Pringle, C.M.; Scatena, F.N. 1998. Migratory drift of larval shrimp in two tropical streams, Puerto Rico. *Freshwater Biology*. 49 261-274.
- 012 McDowell, W.H. 1998. Internal nutrient fluxes in a Puerto Rico rain forest. *Journal of Tropical Ecology*. 14(4): 521-536.
- Olander, L.P.; Scatena, F.N.; Silver, W.L. 1998. Impacts of disturbance initiated by road construction in a subtropical cloud forest in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. *Forest Ecology and Management*. 109(1-3): 33-49.
- Parrotta, J.A., comp. 1999. Tropical restoration for the new millenium. 4th Annual Puerto Rico Forestry Conference; 1999 May 23-28; San Juan, Puerto Rico. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 139 p. [Abstracts].
- 013 Parrota, J.A.; Knowles, O.H. 1999. Restoration of tropical moist forests on bauxite-mined lands in the Brazilian Amazon. *Restoration Ecology*. 7(2): 103-116.
- Post, D.A.; Grant, E.E.; Jones, J.A. 1998. New developments in ecological hydrology expand research opportunities. *Earth Observing System*. 79(43): 517, 526.
- Pringle, C.M.; Scatena, F.N. 1999. Aquatic ecosystem deterioration in Latin America and the Caribbean. In: Upton, H.L.; Swisher, M.E., eds. *Managed ecosystems: the mesoamerican experience*. New York: Oxford University Press. 104-113.

- Pringle, C.M.; Scatena, F.N. 1999. Freshwater resource development: case studies from Puerto Rico and Costa Rica. In: Upton, H.L.; Swisher, M.E., eds. *Managed ecosystems: the mesoamerican experience*. New York: Oxford University Press. 114-121.
- Puente-Rolón, A.R. 1999. Final Report for Grant #96-G-001 between U.S. Fish Service and A.R. Puente-Rolón. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 64 p.
- Raffaele, H.; Wiley, J.; Garrido, O. [and others]. 1998. *A guide to the birds of the West Indies*. Princeton, NJ: Princeton University Press. 511 p.
- 014 Reardon, R.C.; Edwards, W.G.; Meyerdirk, D. 1998. Pink Hibiscus Mealybug *Maconellicoccus hirsutus* (Green) [La cochinilla rosada del Hibisco *Maconellicoccus hirsutus* (Green)]. State and Private Forestry HT-1. Morgantown, WV and Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Animal and Plant Health Inspection Service, and Forest Service; International Institute of Tropical Forestry and Forest Health Technology Enterprise Team. 14 p. [In Spanish and English].
- Reed, A.M. 1998. Scale-dependent influences of riparian processes on the dominant detritivore of a headwater stream in Puerto Rico. Fort Collins, Colorado: State University. 107 p. M.S. thesis.
- Reyes, G.; Morales, J.; JoAnne, Fehleley. 1999. Publications of the International Institute of Tropical Forestry 1937-1997. Gen. Tech. Rep. IIT-12. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 79 p.
- Richardson, B.A. 1999. The bromeliad microcosm and the assessment of faunal diversity in a neotropical forest. *Biotropica*. 31(2): 321-336.
- Rivera Martínez, H.D. 1999. Peak discharge prediction, recession analysis, and evaluation of streamflow response to rainfall for watersheds in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. Storrs, CT: University of Connecticut. 112 p. M.S. thesis.
- Scatena, F.N. 1998. A comparative ecology of the Bisley biodiversity plot and experimental watersheds, Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. In: Dallmeier, F.; Comiskey, J.A., eds. *Forest biodiversity in North, Central and South America, and the Caribbean: research and monitoring*. Man and the Biosphere Series [J.N.R. Jeffers, series ed.]. Paris: UNESCO and the Patherson Publishing Group: 213-230. Vol. 21.
- Schellekens, J. 1999. The interception and runoff generating processes in the Bisley catchment, Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. *Geophysical Research Abstracts*. 1(2): 300.

- Schellekens, J.; Bruijnzeel, L.A.; Wickel, A.J. [and others]. 1998. Interception of horizontal precipitation by elfin cloud forest in the Luquillo Mountains, eastern Puerto Rico. In: Schemenauer, R.S.; Bridgeman, H., eds. First international conference on fog and fog collection; 1998 July 19-24; Vancouver, Canada. Ottawa, Canada: International Development Research Centre: 29-32.
- Schowalter, T.D.; Ganio, L.M. 1999. Invertebrate communities in a tropical rain forest canopy in Puerto Rico following Hurricane Hugo. *Ecological Entomology*. 24(2): 191-201.
- Silver, W.L. 1998. The potential effects of elevated CO₂ and climate change on tropical forest soils and biogeochemical cycling. *Climate Change*. 39(2-3): 337-361.
- Silver, W.L.; Lugo, A.E.; Keller, M. 1999. Soil oxygen availability and biogeochemistry along rainfall and topographic gradients in upland wet tropical forest soils. *Biogeochemistry*. 44: 301-328.
- Smith, C.K.; Gholz, H.L.; Oliveira, F. de A. 1998. Fine litter chemistry, early-stage decay, and nitrogen dynamics under plantations and primary forest in lowland Amazonia. *Soil Biology and Biochemistry*. 30(14): 2159-2169.
- Smith, C.K.; Gholz, H.L.; Oliveira, F. de A. 1998. Soil nitrogen dynamics and plant-induced soil changes under plantations and primary forest in lowland Amazonia, Brazil. *Plant and Soil*. 200(2): 193-204.
- Smith, K.; Gholz, H.L.; Oliveira, F. de A. 1998. Litterfall and nitrogen-use efficiency of plantations and primary forest in the eastern Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*. 109(3): 209-220.
- 015 Spande, T.F.; Poonam; Jain.; Garrafo, H.M. [and others]. 1999. Occurrence and significance of decahydroquinolines from dendrobatid frogs and a Myrmicine ant: use of ¹H and ¹³C NMR in their conformational analysis. *Journal of Natural Products*. 62(1): 5-21.
- Stephenson, S.L.; Landolt, J.C. 1998. Dictyostelid cellular molds in canopy soils of tropical forests. *Biotropica*. 30(4): 657-661.
- Venneker, R.G.W.; Devendra, C.H. 1999. Rainfall interception process modelling for a tropical rain forest in Puerto Rico. *Geophysical Research Abstracts*. 1(2): 302.
- Wadsworth, F.H. 1995. La reforestación, ¿cómo lograrla? *Acta Científica*. 9(2-3): 113-117.
- Wadsworth, F.H. 1995. La valentía de Baño de Oro. *Acta Científica*. 9(2-3): 119-120.

- Wadsworth, F.H. 1995. ¿Preservar o desarrollar?. *Acta Científica*. 9(2-3): 121-122.
- Wadsworth, F.H. 1998. Science and technology. In: Bender, L.D., ed. *The american presence in Puerto Rico*. Hato Rey, Puerto Rico: Publicaciones Puertorriqueñas: 272-312.
- 016 Wadsworth, F.H. 1999. Montane forest management in the insular Caribbean. Gen. Tech. Rep. IITF-GTR-8. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 29 p.
- Walker, R. 1999. The structure of uncultivated wilderness: land use beyond the extensive margin. *Journal of Regional Science*. 39(2): 387-410.
- 017 Weaver, P.L. 1998. The effects of environmental gradients on hurricane impact in Cinnamon Bay Watershed, St. John, U.S. Virgin Islands. In: Dallmeier, F.; Comiskey, J.A., eds. *Forest biodiversity in North, Central and South America, and the Caribbean: research and monitoring*. Man and the Biosphere Series, [J.N.R. Jeffers, series ed.]. Paris: UNESCO and the Parthenon Publishing Group: 333-346. Vol. 21.
- 018 Weaver, P.L. 1998. Hurricane effects and long-term recovery in a subtropical rain forest. In: Dallmeier, F.; Comiskey, J.A.; eds. *Forest biodiversity in North, Central and South America, and the Caribbean: research and monitoring*. Man and the Biosphere Series, volume 21, J.N.R. Jeffers (series ed.). Paris: UNESCO and the Parthenon Publishing Group. 249-270.
- 019 Weaver, P.L. 1999. Impacts of Hurricane Hugo on the dwarf cloud forest of Puerto Rico's Luquillo Mountains. *Caribbean Journal of Science*. 35(1-2): 101-111.
- 020 Weaver, P.L.; Medina, R.; Coll Rivera, J.L. 1999. Las Cabezas de San Juan Reserve: a natural treasure in northeastern Puerto Rico. Gen. Tech. Rep. IITF-6. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 27 p.
- 021 Weaver, P.L.; Ramírez, J.L.; Coll Rivera, J.L. 1999. Las Cabezas de San Juan Nature Reserve (El Faro). Gen. Tech. Rep. IITF-5. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 58 p.
- Willig, M.R.; Secrest, M.F.; Cox, S.B. [and others]. 1998. Long-term monitoring of snails in the Luquillo Experimental Forest of Puerto Rico: heterogeneity, scale, disturbance, and recovery. In: Dallmeier, F.; Comiskey, J.A., eds. *Forest biodiversity in North, Central and South America, and the Caribbean: research monitoring*. Man and the Biosphere Series [J.N.R. Jeffers, series ed.]. Paris: UNESCO and the Pathenon Publishing Group: 293-322. Vol. 21.

Wunderle, J.M. 1997. The timing of the breeding season in the Bananaquit (*Coereba flaveola*) on the island of Grenada, West Indies. *El Pitirre*. 10(3): 113.

022 Wunderle, J.M., Jr. 1999. Avian distribution in Dominican shade coffee plantations: area and habitat relationships. *Journal of Field Ornithology*. 70(1): 58-70.

B. Other publications available for distribution.

Otras publicaciones disponibles para distribución.

023 Acevedo-Rodríguez, P. en colaboración con Woodbury, R.O. 1985. Los bejucos de Puerto Rico. Gen. Tech. Rep. SO-58. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 331 p. Vol. I.

024 Anderson, R.L.; Birdsey, R.A.; Barry, P.J. 1982. Incidence of damage and cull in Puerto Rico's timber resource, 1980. Resour. Bull. SO-88. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry: 1-13.

025 Arendt, W.J. 1988. Range expansion of the cattle egret (*Bubulcus ibis*) in the greater Caribbean Basin. *Colonial Waterbirds*. 11(2): 252-262.

026 Arendt, W.J.; Arendt, A.I. 1988. Aspects of the breeding of the cattle egret (*Bubulcus ibis*) in Monserrat, West Indies, and its impact on nest vegetation. *Colonial Waterbirds*. 11(1): 72-84.

027 Barres, H. 1964. Rooting media for growing pine seedlings in hydroponic culture. Res. Note 2. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Institute of Tropical Forestry. 4 p.

028 Bauer, G.P.; Gillespie, A.J.R. 1990. Volume tables for young plantation-grown hybrid mahogany (*Swietenia macrophylla* x *S. mahagoni*) in the Luquillo Experimental Forest of Puerto Rico. Res. Pap. SO-257. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 8 p.

029 Birdsey, R.A.; Jiménez, D. 1985. The forests of Toro Negro. Res. Pap. SO-222. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 29 p.

030 Birdsey, R.A.; Weaver, P.L. 1987. Forest area trends in Puerto Rico. Res. Note SO-331. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 5 p.

031 Birdsey, R.A.; Weaver, P.L.; Nicholls, C.F. 1986. The forest resources of St. Vincent, West Indies. Res. Pap. SO-229. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 25 p.

- 032 Bokkestijn, A.; Francis, J.K. 1988. *Khaya senegalensis* Juss. Dry-zone mahogany. Meliaceae. Mahogany family. SO-ITF-SM-5. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 033 Briscoe, C.B. 1962. Crecimiento en diámetro de los árboles en los cerros de la región caliza seca. Apuntes Forestales Tropicales ITF-12. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Tropical Forest Research Center. 2 p.
- 034 Briscoe, C.B. 1962. Tree diameter growth in the dry limestone hills. Tropical Forest Note ITF-12. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Tropical Forest Research Center. 2 p.
- 035 Briscoe, C.B.; Nobles, R.W. 1962. Height and growth of mahogany seedlings. Tropical Forest Note ITF-13. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Tropical Forest Research Center. 2 p.
- 036 Chinae, J.D.; Beymer, R.J.; Rivera, C. [and others]. 1993. An annotated list of the flora of Bisley area, Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico, 1987 to 1992. Gen. Tech. Rep. SO-94. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, International Institute of Tropical Forestry. 12 p.
- 037 Chinae-Rivera, J.D. 1990. *Ceiba pentandra* (L) Gaertn. Ceiba, kapok, silk cotton tree. Bombacaceae. Bombax family. SO-ITF-SM-29. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 038 Chudnoff, M.; Goytía, E. 1967. The effect of incising on drying, treatability, and bending strength of fence posts. Res. Pap. ITF-5. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Institute of Tropical Forestry. 20 p.
- 039 Chudnoff, M.; Maldonado, E.D.; Goytía, E. 1966. Solar drying of tropical hardwoods. Res. Pap. ITF-2. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Institute of Tropical Forestry. 26 p.
- 040 Crow, T.R.; Weaver, P.L. 1977. Tree growth in a moist tropical forest of Puerto Rico. Res. Pap. ITF-22. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Institute of Tropical Forestry. 17 p.
- 041 Englerth, G.H.; Maldonado, E.D. 1961. Bamboo for fence posts. Tropical Forest Note 6. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Tropical Forest Research Center. [Also available in Spanish as Apuntes Forestales Tropicales ITF-6].
- 042 Ewel, J.J.; Whitmore, J.L. 1973. The ecological life zones of Puerto Rico and the United States Virgin Islands. Res. Pap. ITF-18. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Institute of Tropical Forestry. 72 p.

- 043 Figueroa Colón, J.C. 1996. Phytogeographical trends, centers of high species richness and endemism, and the question of extinctions in the native flora of Puerto Rico. In: Figueroa Colón, J.C., ed. The scientific survey of Puerto Rico and the Virgin Islands; Vol. 776 of the Annals of the New York Academy of Sciences. New York: The Academy: 89-102.
- 044 Figueroa Colón, J.C.; Wadsworth, F.H.; Branham, S., eds. 1987. Management of the forests of tropical America: prospects and technologies. Proceedings of a conference; 1986 September 22-27; San Juan, Puerto Rico. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 469 p.
- 045 Francis, J.K. 1988. *Agathis robusta* (C. Moore ex F. Muell) F.M. Bailey. Queensland kauri. Araucariaceae. Araucaria family. SO-ITF-SM-10. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 046 Francis, J.K. 1988. *Araucaria heterophylla* (Salisb.) Franco. Norfolk Island Pine. Araucariaceae. Araucaria family. SO-ITF-SM-11. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 047 Francis, J.K. 1988. *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. Guanacaste, earpod-tree. Leguminosae. Legume family. SO-ITF-SM-15. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 048 Francis, J.K. 1988. *Eucalyptus deglupta* Blume. Kamarere. Myrtaceae. Myrtle family. SO-ITF-SM-16. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 049 Francis, J.K. 1988. *Hernandia sonora* L. Mago, toporite. Hernandiaceae. Hernandia family. SO-ITF-SM-13. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 3 p.
- 050 Francis, J.K. 1988. *Maesopsis eminii* Engl. Musizi. Rhamnaceae. Buckthorn family. SO-ITF-SM-8. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 051 Francis, J.K. 1988. *Terminalia ivorensis* (A. Chev.). Idigbo, emire. Combretaceae. Combretum family. SO-ITF-SM-12. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 052 Francis, J.K. 1989. *Bucida buceras*. L. Úcar. Combretaceae. Combretum family. SO-ITF-SM-18. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.

- 053 Francis, J.K. 1989. The Luquillo Experimental Forest Arboretum. Res. Note SO-358. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 8 p.
- 054 Francis, J.K. 1989. *Mammea americana* L. Mamey, Mammee-apple. Guttiferae. Mangos-teen family. SO-ITF-SM-22. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 055 Francis, J.K. 1989. Merchantable volume and weights of mahoe in Puerto Rican plantations. Res. Note SO-355. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 056 Francis, J.K. 1989. *Pterocarpus macrocarpus* Kurz. Burma padauk, pradu. Leguminosae. Legume family. SO-ITF-SM-19. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 057 Francis, J.K. 1989. *Tabebuia donnell-smithii* Rose. Primavera. Bignoniaceae. Bignonia family. SO-ITF-SM-25. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 058 Francis, J.K. 1989. *Terminalia catappa* L. Indian Almond, Almendra. Combretaceae. Combretum family. SO-ITF-SM-23. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 059 Francis, J.K. 1989. *Thespesia grandiflora* (DC). Urban. Maga. Malvaceae. Mallow family. SO-ITF-SM-21. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 060 Francis, J.K. 1990. *Bursera simaruba* (L.) Sarg. Almácigo, gumbo limbo. Burseraceae. Bursera family. SO-ITF-SM-35. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 061 Francis, J.K. 1990. *Byrsonima spicata* (Cav.) H.B.K. Maricao. Malpighiaceae. Malpighia family. SO-ITF-SM-36. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 062 Francis, J.K. 1990. *Catalpa longissima* (Jacq.) Dum. Cours. Yokewood. Bignoniaceae. Bignonia family. SO-ITF-SM-37. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 063 Francis, J.K. 1990. *Citharexylum fruticosum* L. Pendula, fiddlewood. Verbenaceae. Verbena family. SO-ITF-SM-34. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.

- 064 Francis, J.K. 1990. *Fraxinus uhdei* (Wenzig) Lingelsh. Fresno, tropical ash. Oleaceae. Olive family. SO-ITF-SM-28. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 065 Francis, J.K. 1990. *Hura crepitans* L. Sandbox, molinillo, jabillo. Euphorbiaceae. Spurge family. SO-ITF-SM-38. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 066 Francis, J.K. 1990. *Hymenaea courbaril* (L.) Algarrobo, locust. Leguminosae. Legume family. Caesalpinioideae. Cassia subfamily. SO-ITF-SM-27. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 067 Francis, J.K. 1990. *Spathodea campanulata* Beauv. African tulip tree. Bignoniaceae. Bignonia family. SO-ITF-SM-32. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 068 Francis, J.K. 1990. *Syzygium jambos* (L.) Alst. Rose apple. Myrtaceae. Myrtle family. SO-ITF-SM-26. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 069 Francis, J.K. 1991. *Cupania americana* L. Guara. Sapindaceae. Soapberry family. SO-ITF-SM-44. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 070 Francis, J.K. 1991. *Guazuma ulmifolia* Lam. Guácima. Sterculiaceae. Chocolate family. SO-ITF-SM-47. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 071 Francis, J.K. 1991. *Hyeronima clusioides* (Tul.) Muell-Arg. Cedro macho. Euphorbiaceae. Spurge family. SO-ITF-SM-45. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 3 p.
- 072 Francis, J.K. 1991. *Ochroma pyramidale* Cav. Balsa. Bombacaceae. Bombax family. SO-ITF-SM-41. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 6 p.
- 073 Francis, J.K. 1991. *Zanthoxylum martinicense* (Lam.) DC. Espino rubial. Rutaceae. Rue family. SO-ITF-SM-42. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 074 Francis, J.K. 1992. *Melicoccus bijugatus* Jacq. Quenepa. Sapindaceae. Soapberry family. SO-ITF-SM-48. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.

- 075 Francis, J.K. 1992. *Pinus caribaea* Morelet. Caribbean pine. Pinaceae. Pine family. SO-ITF-SM-53. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 10 p.
- 076 Francis, J.K. 1992. *Roystonea borinquena* O.F. Cook. Puerto Rican royal palm. Palmae. Palm family. SO-ITF-SM-55. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 077 Francis, J.K. 1992. *Spondias mombin* L. Hogplum. Anacardiaceae. Cashew family. SO-ITF-SM-51. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 078 Francis, J.K. 1993. *Acrocomia media* O.F. Cook. Corozo. Palmaceae. Palm family. SO-ITF-SM-68. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, International Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 079 Francis, J.K. 1993. *Alchornea latifolia* Sw. Achiotillo. Euphorbiaceae. Spurge family. SO-ITF-SM-60. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, International Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 080 Francis, J.K. 1993. *Bambusa vulgaris* Schrad ex Wendl. Common bamboo. Gramineae. Grass family. Bambusoideae. Bamboo subfamily. New Orleans, LA: SO-ITF-SM-65. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, International Institute of Tropical Forestry. 6 p.
- 081 Francis, J.K. 1993. *Clusia rosea* Jacq. Cupey. Clusiaceae. Clusia family. SO-ITF-SM-69. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, International Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 082 Francis, J.K. 1993. *Genipa americana* L. Jagua, genipa. Rubiaceae. Madder family. SO-ITF-SM-58. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. International Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 083 Francis, J.K. 1993. *Guaiacum officinale* L. Lignumvitae, Guayacán. Zygophyllaceae. Caltrop family. SO-ITF-SM-67. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 084 Francis, J.K. 1994. English-Portuguese equivalents of forestry and conservation terms. [Termos equivalentes em silvicultura e conservacao Português-Inglés]. Gen. Tech. Rep. SO-109. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 45 p.
- 085 Francis, J.K. 1994. *Ficus citrifolia* P. Miller Jagüey blanco. Moraceae. Mulberry family. SO-ITF-SM-75. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 4 p.

- 086 Francis, J.K. 1994. *Inga fagifolia* (L.) Willd. Guamá. Leguminosae (Mimosoideae). Legume family. SO-ITF-SM-72. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, International Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 087 Francis, J.K. 1995. *Cordia sulcata* DC. White manjack, Moral. Boraginaceae. Borage family. SO-ITF-SM-77. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 088 Francis, J.K. 1997. *Zanthoxylum flavum* Vahl. Aceitillo, yellow-sanders. Rutaceae, Rue family. Silvics Manual IITF-SM-85. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry: 4 p.
- 089 Francis, J.K. 1998. Tree species for planting in forest, rural, and urban areas of Puerto Rico. Gen. Tech. Rep. GTR-IITF-3. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry: 82 p.
- 090 Francis, J.K.; Bokkestijn, A. 1988. *Khaya nyasica* Stapf. ex Baker f. East African Mahogany. Meliaceae. Mahogany family. SO-ITF-SM-9. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 091 Francis, J.K.; Alemañy, S. 1994. *Juglans jamaicensis* C. DC. Nogal. Juglandaceae. Walnut family. SO-ITF-SM-73. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, International Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 092 Francis, J.K.; Gillespie, A.J.R. 1993. Relating gust speed to tree damage in Hurricane Hugo, 1989. *Journal of Arboriculture*. 19(6): 369-373.
- 093 Francis, J.K.; Liogier, H.A. 1991. Naturalized exotic tree species in Puerto Rico. Gen. Tech. Rep. SO-82. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 12 p.
- 094 Francis, J.K.; Parresol, B.R.; de Patino, J.M. 1996. Probability of damage to sidewalks and curbs by street trees in the Tropics. *Journal of Arboriculture*. 22(4): 193-197.
- 095 Francis, J.K.; Rivera, C.; Figueroa, J. 1994. Toward a woody plant list for Antigua and Barbuda: past and present. SO-GTR-102. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, International Institute of Tropical Forestry. 28 p.
- 096 Francis, J.K.; Rodríguez, A. 1993. Seeds of Puerto Rican trees and shrubs: second installment. Res. Note SO-374. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 5 p.

- 097 Franco, P.A.; Weaver P.L.; Eggen MacIntosh, S. 1997. Forest resources of Puerto Rico, 1990. In: Resour. Bull. SRS-22. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. 45 p.
- 098 Frangi, J.L.; Lugo, A.E. 1991. Hurricane damage to a flood plain forest in the Luquillo Mountains of Puerto Rico. *Biotropica*. 23(4a): 324-335.
- 099 Fu, S.; Rodríguez Pedraza, C.; Lugo, A.E. 1996. A twelve-year comparison of stand changes in a mahogany plantation and a paired natural forest of similar age. *Biotropica*. 28(4a): 515-524.
- 100 García-Martinó, A.R.; Scatena, F.N.; Warner, G.S.; Civco, D.L. 1996. Statistical low flow estimation using GIS analysis in humid montane regions in Puerto Rico. *Water Resources Bulletin (Journal of the American Water Resources Association)*. 32(6): 1259-1271.
- 101 García-Martinó, A.R.; Warner, G.S.; Scatena, F.N.; Civco, D.L. 1996. Rainfall, runoff and elevation relationships in the Luquillo Mountains of Puerto Rico. *Caribbean Journal of Science*. 32(4): 413-424.
- 102 Gillespie, A.J.R. 1992. *Pinus patula* Schiede and Deppe. Patula pine. Pinaceae. Pine family. SO-ITF-SM-54. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 103 Gillespie, A.J.R. 1994. Remote sensing for tropical forest assessment [Evaluación de bosques tropicales utilizando la técnica telesensorial]; Proceedings of a workshop; 1991 April 8-12; San Juan, PR. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Institute of Tropical Forestry; and París: United Nations Food and Agriculture Organization. 84 p.
- 104 Jiménez, J.A. 1985. *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. f. White Mangrove. SO-ITF-SM-3. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 105 Jiménez, J.A. 1985. *Rhizophora mangle* L. Red Mangrove. SO-ITF-SM-2. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 7 p.
- 106 Jiménez, J.A.; Lugo, A.E. 1985. *Avicennia germinans* (L.) L. Black Mangrove. SO-ITF-SM-4. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 6 p.
- 107 Jones, S.C.; Nalepa, C.A.; McMahan, E.A.; Torres, J.A. 1995. Survey and ecological studies of the termites (Isoptera: Kalotermitidae) of Mona Island. *Florida Entomologist*. 78(2): 305-313.

- 108 Keller, M.; Clark, D.A.; Clark, D.B. [and others]. 1996. If a tree falls in the forest. *Science*. 273: 201.
- 109 Kjerfve, B.; de Lacerda, L.D.; Diop, E.H.S., eds. 1997. Mangrove ecosystem studies in Latin America and Africa. Cosponsored by UNESCO, International Society for Mangrove Ecosystems; and U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. Paris: UNESCO. 349 p.
- 110 Knowles, O.H.; Parrotta, J.A. 1997. Phenological observations and tree seed characteristics in an equatorial moist forest at Trombetas, Para State, Brazil. In: Lieth, H., comp., ed. *Phenology in seasonal climates I*. Leiden, Netherlands: Backhuys: 67-84.
- 111 Latta, S.C.; Wunderle, J.M., Jr. 1996. Ecological relationships of two todies in Hispaniola: effects of habitat and flocking. *The Condor*. 98: 769-779.
- 112 Latta, S.C.; Wunderle, J.M., Jr. 1996. The composition and foraging ecology of mixed species flocks in pine forests of Hispaniola. *The Condor*. 98: 595-607.
- 113 Ledig, F.T.; Whitmore, J.L. 1981. The calculation of selection differential and selection intensity to predict gain in a tree improvement program for plantation grown Honduras pine in Puerto Rico. Res. Pap. SO-170. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 7 p.
- 114 Liegel, L.H. 1984. Effects of adding magnesium nitrate before dry-ashing on phosphorus in Honduras pine foliage. Res. Note. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*. 68(2): 219-221.
- 115 Liegel, L.H. 1984. Results of 5- to 6-year old provenance trials of *Pinus oocarpa* Schiede on eight sites in Puerto Rico. *Silvae Genetica*. 33(6): 223-230.
- 116 Liegel, L.H. 1984. Status, growth, and development of unthinned Honduras pine plantations in Puerto Rico. *Turrialba*. 34(3): 313-324.
- 117 Liegel, L.H. 1990. *Didymopanax morototoni* (Aubl.) Decne. & Planch. Yagrumo macho. Araliaceae. Ginseng family. In: Burns, R.M.; Honkala, B.H., comps., eds. *Silvics of North America. Hardwoods*. Agric. Handb. 654. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture: 288-293. Vol. 2.
- 118 Liegel, L.H., comp. 1991. Growth and site relationships of *Pinus caribaea* across the Caribbean Basin. Gen. Tech. Rep. SO-83. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry in cooperation with the University of Puerto Rico. 70 p.

- 119 Liegel, L.H.; Stead, J.W. 1990. *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken. Laurel, Capá Prieto. Boraginaceae. Borage family. In: Burns, R.M.; Honkala, B.H., comps., eds. Silvics of North America. Hardwoods. Agric. Handb. 654. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture: 270-277. Vol. 2.
- 120 Liegel, L.H.; Venator, C.R. 1987. A technical guide for forest nursery management in the Caribbean and Latin America. Gen. Tech. Rep. SO-67. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 156 p.
- 121 Little, E.L., Jr.; Woodbury, R.O.; Wadsworth, F.H. 1976. Flora of Virgin Gorda (British Virgin Islands). Res. Pap. ITF-21. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Institute of Tropical Forestry. 36 p.
- 122 Lodge, D.J.; Scatena, F.N.; Asbury, C.E.; Sánchez, M.J. 1991. Fine litterfall and related nutrient inputs resulting from Hurricane Hugo in subtropical wet and lower montane rain forests of Puerto Rico. *Biotropica*. 23(4a): 336-342.
- 123 Lugo, A.E. 1988. Forest lands in Puerto Rico and the Caribbean 500 years after their discovery by Cristoforo Colombo. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 16 p. slide presentation with ref. and app.
- 124 Lugo, A.E. 1992. Comparison of tropical tree plantations with secondary forests of similar age. *Ecological Monographs*. 62(1): 1-41.
- 125 Lugo, A.E. 1992. Tree plantation for rehabilitating damaged forest lands in the Tropics. In: Wali Mohan, K., ed. Ecosystem rehabilitation. Ecosystem analysis and synthesis. The Hague, The Netherlands: SPB Academic Publishing: 247-255. Vol. 2.
- 126 Lugo, A.E. 1994. Preservation of primary forests in the Luquillo Mountains, Puerto Rico. *Conservation Biology*. 8(4): 1122-1131.
- 127 Lugo, A.E. 1996. Ninety years of plant ecology research in Puerto Rico. In: Figueroa, J.C., ed. The scientific survey of Puerto Rico and the Virgin Islands. Volume 776 of the Annals of the New York Academy of Sciences. New York: The Academy: 73-88.
- 128 Lugo, A.E. 1997. Old-growth mangrove forests in the United States. *Conservation Biology*. 11(1): 11-20.
- 129 Lugo, A.E.; Figueroa, J. 1984. *Anthocephalus chinensis* (Lam.) A. Rich. ex Walp. Kadam. SO-ITF-SM-1. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 6 p.

- 130 Lugo, A.E.; Ford, L.B., eds. 1987. Forest recreation in the Caribbean Islands. Proceedings of the 3rd meeting of Caribbean Foresters; 1986 May 19-23; Guadeloupe, F.W.I. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry and the Caribbean National Forest. 95 p.
- 131 Lugo, A.E.; Frangi, J.L. 1993. Fruit fall in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. *Biotropica*. 25(1): 73-84.
- 132 Lugo, A.E.; Ramos, O.; Molina, S. [and others]. 1996. A fifty-three year record of land use change in the Guanica Forest Biosphere Reserve and its vicinity. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry with Fundación Puertorriqueña de Conservación. 13 pages + photographs. [Accompanying maps by Vélez Rodríguez, L.L., cited separately.]
- 133 Lugo, A.E.; Scatena, F.N. 1996. Background and catastrophic tree mortality in tropical moist, wet, and rain forests. *Biotropica*. 28(4a): 585-599.
- 134 Maldonado, E.D. 1961. Peladora de postes de cadena ajustada: A tight chain post peeler. *Apuntes Forestales Tropicales ITF-8*. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Tropical Forest Research Center. 5 p.
- 135 Maldonado, E.D. 1962. Radiación solar para secar caoba en Puerto Rico. *Apuntes Forestales Tropicales ITF-14*. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Tropical Forest Research Center. 5 p.
- 136 Maldonado, E.D. 1962. Solar radiation used to dry mahogany lumber in Puerto Rico. *Tropical Forest Note ITF-14*. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Tropical Forest Research Center. 5 p.
- 137 Mastrantonio, J.L.; Francis, J.K. 1997. A student guide to tropical forest conservation. Gen. Tech. Rep. GTR-SO-123. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station and the International Institute of Tropical Forestry, Río Piedras, PR: 20 p.
- 138 Molina, S.; Alemañy, S. 1997. Species codes for the trees of Puerto Rico. Gen. Tech. Rep. GTR-SO-122. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station and International Institute of Tropical Forestry, Río Piedras, PR: 67 p.
- 139 Nobles, R.W.; Briscoe, C.B. 1966. Height growth of mahogany seedlings. Res. Note ITF-10. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 140 Parrotta, J.A. 1988. *Albizia lebbek* (L.) Benth. *Siris*. Leguminosae (Mimosaceae). Legume family. SO-ITF-SM-7. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 5 p.

- 141 Parrotta, J.A. 1988. *Albizia procera* (Roxb.) Benth. White siris. Tall albizi. Leguminosae (Mimosaceae). Legume family. SO-ITF-SM-6. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 142 Parrotta, J.A. 1989. *Dalbergia sissoo* Roxb. Sissoo. Indian Rosewood. Leguminosae (Papilionoideae). Legume family. SO-ITF-SM-24. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 143 Parrotta, J.A. 1990. *Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen. Batai, Moluccan sau. Leguminosae (Mimosoideae). Legume family. SO-ITF-SM-31. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 144 Parrotta, J.A. 1990. *Tamarindus indica*. L. Tamarindo. Leguminosae (Caesalpinioideae). Legume family. SO-ITF-SM-30. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 145 Parrotta, J.A. 1991. *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth. Guamúchi, Madras thorn. Leguminosae (Mimosoideae). Legume family. SO-ITF-SM-40. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 146 Parrotta, J.A. 1992. *Acacia farnesiana* (L.) Willd. Aroma, huisache. Leguminosae (Mimosoideae). Legume family. SO-ITF-SM-49. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 6 p.
- 147 Parrotta, J.A. 1992. *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp. Gliricidia, Mother of Cocoa. Leguminosae (Papilionoideae). Legume family. SO-ITF-SM-50. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 7 p.
- 148 Parrotta, J.A. 1992. *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. Leucaena, tantan. Leguminosae (Mimosoideae). Legume family. SO-ITF-SM-52. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 8 p.
- 149 Parrotta, J.A. 1993. Assisted recovery of degraded tropical lands: plantation forests and ecosystem stability. In: Paoletti, M.G.; Foissner, W.; Coleman, D., eds. Soil Biota, Nutrient. 169-182.
- 150 Parrotta, J.A. 1993. *Casuarina equisetifolia* L. ex J.R. & G. Forst. Casuarina, Australian pine. Casuarinaceae. Casuarina family. SO-ITF-SM-56. New Orleans, LA: U.S.

Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station,
International Institute of Tropical Forestry. 11 p.

- 151 Parrotta, J.A. 1993. *Cocos nucifera* L. Coconut, Coconut palm, Palma de coco. Palmae. Palm family. SO-ITF-SM-57. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, International Institute of Tropical Forestry. 7 p.
- 152 Parrotta, J.A. 1993. *Mangifera indica* L. Mango. Anacardiaceae. Cashew family. SO-ITF-SM-63. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 6 p.
- 153 Parrotta, J.A. 1993. *Moringa oleifera* Lam. Resedá, horseradish tree. Moringaceae. Horseradish-tree family. SO-ITF-SM-61. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, International Institute of Tropical Forestry. 6 p.
- 154 Parrotta, J.A. 1994. Application of ^{15}N -enrichment methodologies to estimate nitrogen fixation in *Casuarina equisetifolia*. Canadian Journal of Forest Research. 24(2): 201-207.
- 155 Parrotta, J.A. 1994. *Artocarpus altilis* (S. Park.) Fosb. Breadfruit. Moraceae. Mulberry family. SO-ITF-SM-71. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, International Institute of Tropical Forestry. 6 p.
- 156 Parrotta, J.A. 1994. *Coccoloba uvifera* (L.) L. Sea grape, Uva de playa. Polygonaceae. Buckwheat family. SO-ITF-SM-74. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 157 Parrotta, J.A. 1994. *Thespesia populnea* (L.) Soland ex Correa. Portiatree, emajaguilla. SO-ITF-SM-76. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 158 Parrotta, J.A. 1997. *Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth. Northern black wattle. Leguminosae (Mimosoideae), Legume family. Silvics Manual IITF-SM-86. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry: 4 p.
- 159 Parrotta, J.A.; Baker, D.D.; Fried, M. 1994. Estimation of nitrogen fixation in *Leucaena leucocephala* using ^{15}N -enrichment methodologies. In: Sprent, J.I.; McKey, D., eds. Advances in legume systematics 5: the nitrogen factor. Kew, London, UK: Royal Botanic Gardens: 75-82.
- 160 Parrotta, J.A.; Baker, D.D.; Fried, M. 1996. Changes in nitrogen fixation in maturing stand of *Casuarina equisetifolia* and *Leucaena leucocephala*. Canadian Journal of Forest Research. 26: 1684-1691.

- 161 Parrotta, J.A.; Chaturvedi, A.N. 1994. *Azadirachta indica* A. Juss. Neem, margosa. Meliaceae. Mahogany family. SO-ITF-SM-70. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, International Institute of Tropical Forestry. 8 p.
- 162 Parrotta, J.A.; Francis, J.K. 1990. *Senna siamea* Irwin & Barnaby. Yellow cassia, minjri. Leguminosae (Caesalpinioideae). Legume family. SO-ITF-SM-33. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 7 p.
- 163 Parrotta, J.A.; Francis, J.K. 1993. *Pouteria multiflora* (A. DC.) Eyma. Jácana, Bully-tree. Sapotaceae. Sapodilla family. SO-ITF-SM-62. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, International Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 164 Parrotta, J.A.; Francis, J.K.; de Almeida, R.R. 1995. Trees of the Tapajos: a photographic field guide. Gen. Tech. Rep. IITF-1. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 370 p.
- 165 Parrotta, J.A.; Knowles, Oliver H.; Wunderle, Jr., J.M. 1997. Development of floristic diversity in 10-year-old restoration forests on a bauxite mined site in Amazonia. *Forest Ecology and Management*. 99(1-2): 21-42.
- 166 Parrotta, J.A.; Lodge, D.J. 1991. Fine root dynamics in a subtropical wet forest following hurricane disturbance in Puerto Rico. *Biotropica*. 23(4a): 343-347.
- 167 Parrotta, J.A.; Turnbull, J.W.; Jones, N. 1997. Catalyzing native forest regeneration on degraded tropical lands. *Forest Ecology and Management*. 99(1-2): 1-7.
- 168 Reyes, G.; Brown, S.; Chapman, J.; Lugo, A.E. 1992. Wood densities of tropical tree species. Gen. Tech. Rep. SO-88. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 15 p.
- 169 Rodríguez, C. 1990. *Inga vera* (Willd.) Guaba. Leguminosae (Mimosoideae). Legume family. SO-ITF-SM-39. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 170 Rodríguez, C.D. 1993. *Petitia domingensis* Jacq. Capá blanco. Verbenaceae. Verbena family. SO-ITF-SM-66. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, International Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 171 Sánchez, M.J.; López, E.; Lugo, A.E. 1997. Chemical and physical analyses of selected plants and soils from Puerto Rico (1981-1990). Res. Note IITF-RN-1. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 112 p.

- 172 Scatena, F.N. 1998. An assessment of climate change in the Luquillo Mountains of Puerto Rico. In: Segarra García, R.I., comp., ed. Proceedings tropical hydrology and Caribbean water resources, third international symposium on tropical hydrology and fifth Caribbean Islands water resources congress; 1998 July 12-16; San Juan, PR. Herndon, VA: American Water Resources Association: 193-198.
- 173 Scatena, F.N. 1995. Relative scales of time and effectiveness of watershed processes in a tropical montane rain forest of Puerto Rico. Natural and anthropogenic influences in fluvial geomorphology. Geophysical Monograph 89. Washington, DC: American Geophysical Union: 103-111.
- 174 Scatena, F.N.; Larsen, M.C. 1991. Physical aspects of Hurricane Hugo in Puerto Rico. Biotropica. 23(4a): 317-323.
- 175 Scatena, F.N.; Moya, S.; Estrada, C.; Chinea, J.D. 1996. The first five years in the reorganization of aboveground biomass and nutrient use following Hurricane Hugo in the Bisley Experimental Watersheds, Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. Biotropica. 28(4a): 424-440.
- 176 Schubert, T.H.; Zambrana, J. 1978. Honduras or big-leaf mahogany. Urban forestry bulletin, Caribbean area. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southeastern Area. 2 p.
- 177 Schubert, T.H.; Zambrana, J. 1978. West Indies or small-leaf mahogany. Urban forestry bulletin, Caribbean area. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southeastern Area. 2 p.
- 178 Silander, S.R.; Lugo, A.E. 1990. *Cecropia peltata* L. Yagrumo hembra, Trumpet-Tree. Moraceae. Mulberry family. In: Burns, R.M.; Honkala, B.H., comps., eds. Silvics of North America. Hardwoods. Agric. Handb. 654. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture: 244-249. Vol. 2.
- 179 Torres, J.A. 1992. Lepidoptera outbreaks in response to successional changes after the passage of Hurricane Hugo in Puerto Rico. Journal of Tropical Ecology. 8: 285-298.
- 180 Torres, J.A. 1994. Insects of the Luquillo Mountains, Puerto Rico. SO-GTR-105. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 53 p.
- 181 Torres, J.A. 1994. Wood decomposition of *Cyrilla racemiflora* in a tropical montane forest. Biotropica. 26(2): 124-140.
- 182 Tosi, J.A., Jr.; Vélez-Rodríguez, L.L. 1983. Provisional ecological map of the Republic of Brazil. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, International Institute of Tropical Forestry. In cooperation with: Center for Energy and Environment Research, University of Puerto Rico, and United States Department of Energy. 16 p.

- 183 Veldkamp, E.; Keller, M. 1997. Nitrogen oxide emissions from a banana plantation in the humid tropics. *Journal of Geophysical Research*. 102(D13): 15,889-15,898.
- 184 Venator, C.R. 1972. Effect of gibberelic acid on germination of low-vigor Honduras pine seeds. *Forest Science*. 18(4): 331.
- 185 Venator, C.R. 1976. A mutant *Pinus caribaea* var. *hondurensis* seedling incapable of developing normal secondary needles. *Turrialba*. 26(1): 98-99.
- 186 Venator, C.R.; Muñoz, J.E.; Barros, N.F. 1977. Root immersion in water: a promising method for successful bare-root planting of Honduras pine. *Turrialba*. 27(3): 287-291.
- 187 Wadsworth, F.N. 1997. Forest production for Tropical America. *Agric. Handb.* 271. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture: 563 p.
- 188 Weaver, P.L. 1983. Tree growth and stand changes in the subtropical life zones of the Luquillo Mountains of Puerto Rico. Res. Pap. SO-190. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 24 p.
- 189 Weaver, P.L. 1988. *Guarea guidonia* (L.) Sleumer. American muskwood. Meliaceae. Mahogany family. SO-ITF-SM-17. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 7 p.
- 190 Weaver, P.L. 1989. *Andira inermis* (W. Wright) DC. Cabbage angelin. Leguminosae. Legume family. SO-ITF-SM-20. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 7 p.
- 191 Weaver, P.L. 1990. *Calophyllum calaba* L. María, Santa María. Guttiferae. Mangosteen family. In: Burns, R.M.; Honkala, B.H., eds. *Silvics of North America. Hardwoods*. *Agric. Handb.* 654. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture: 172-178. Vol. 2.
- 192 Weaver, P.L. 1990. *Manilkara bidentata* (A. DC.) Chev. Ausubo, Balata. Sapotaceae. Sapodilla family. In: Burns, R.M.; Honkala, B.H., eds. *Silvics of North America. Hardwoods*. *Agric. Handb.* 654. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture: 455-460. Vol. 2.
- 193 Weaver, P.L. 1990. *Tabebuia heterophylla* (DC.) Britton. Roble blanco, White-cedar. Bignoniaceae. Bignonia family. In: Burns, R.M.; Honkala, B.H., eds. *Silvics of North America. Hardwoods*. *Agric. Handb.* 654. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture: 778-783. Vol. 2.

- 194 Weaver, P.L. 1991. *Buchenavia capitata* (Vahl) Eichl. Granadillo. Combretaceae. Combretum family. SO-ITF-SM-43. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 7 p.
- 195 Weaver, P.L. 1993. *Micropholis chrysophylloides* Pierre. Caimitillo. Sapotaceae. Sapodilla family. SO-ITF-SM-59. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, International Institute of Tropical Forestry. 8 p.
- 196 Weaver, P.L. 1993. *Tectona grandis* L.f. Teak. Verbenaceae. Verbena family. SO-ITF-SM-64. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, International Institute of Tropical Forestry. 18 p.
- 197 Weaver, P.L. 1994. Baño de Oro Natural Area Luquillo Mountains, Puerto Rico. Gen. Tech. Rep. SO-111. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 55 p.
- 198 Weaver, P.L. 1994. Effects of Hurricane Hugo on trees in the Cinnamon Bay watershed, St. Johns, U.S. Virgin Islands. Caribbean Journal of Science. 30(3-4): 255-261.
- 199 Weaver, P.L. 1996. *Cyrilla racemiflora* L. Swamp cyrilla. Cyrillaceae, Cyrilla family. SO-ITF-SM-78. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 12 p.
- 200 Weaver, P.L. 1996. Forest productivity in the Cinnamon Bay watershed, St. Johns, U.S. Virgin Islands. Caribbean Journal of Science. 32(1): 89-98.
- 201 Weaver, P.L. 1997. *Magnolia splendens* Urban Laurel sabino. Magnoliaceae, Magnolia family. Silvics Manual IITF-SM-80. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry: 7 p.
- 202 Weaver, P.L. 1997. *Ormosia krugii* Urban Palo de Matos. Leguminosae, Legume family. Lotoideae, Pea family. Silvics Manual IITF-SM-83. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry: 6 p.
- 203 Weaver, P.L. 1997. *Pterocarpus officinalis* Jacq. Bloodwood. Leguminosae, Legume family. Lotoideae, Pea family. Silvics Manual IITF-SM-87. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry: 7 p.
- 204 Weaver, P.L. 1997. *Sloanea berteriana* Choisy Motillo. Elaeocarpaceae, Elaeocarpus family. Silvics Manual IITF-SM-84. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry: 7 p.
- 205 Weaver, P.L.; Birdsey, R.A.; Nicholls, C.F. 1988. Los recursos forestales de San Vicente, Indias Occidentales. Forest Service Res. Pap. SO-244. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 27 p.

- 206 Weaver, P.L.; Francis, J.K. 1988. *Hibiscus elatus* Sw. Mahoe Malvaceae. Mallow family. SO-ITF-SM-14. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 7 p.
- 207 Weaver, P.L.; Sabido, O.A. 1997. Mahogany in Belize: a historical perspective. Gen. Tech. Rep. GTR-IITF-2. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 31 p.
- 208 Whitmore, J.L. 1972. *Pinus merkusii* unsuitable for plantations in Puerto Rico. Turrialba. 22(3): 351-353.
- 209 Whitmore, J.L. 1978. Bibliography on *Eucalyptus deglupta* Bl. Res. Note ITF-17. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Institute of Tropical Forestry. 18 p.
- 210 Whitmore, J.L. 1978. *Cedrela* provenance trial in Puerto Rico and St. Croix: establishment phase. Res. Note ITF-16. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Institute of Tropical Forestry. 11 p.
- 211 Whitmore, J.L.; Hinojosa, G. 1977. Mahogany (*Swietenia*) hybrids. Res. Pap. ITF-23. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Institute of Tropical Forestry. 8 p.
- 212 Whitmore, J.L.; Liegel, L.H. 1980. Spacing trial of *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. Res. Pap. SO-162. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 9 p.
- 213 Wickel, A.J. 1997. Rainfall interception modelling for two tropical forest types in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. In: Hydrological modelling in a humid tropical island setting: with special reference to the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. Working Paper No. 2. Amsterdam, The Netherlands: Vrije Universiteit, Faculty of Earth Sciences: 42 p + appendix.
- 214 Wiley, J.W.; Wunderle J.M., Jr. 1993. The effects of hurricanes on birds, with special reference to Caribbean islands. Bird Conservation International. 3: 319-349.
- 215 Woodbury, R.O.; Little, E.L., Jr. 1976. Flora of Buck Island Reef National Monument (U.S. Virgin Islands). Res. Pap. ITF-19. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Institute of Tropical Forestry. 27 p.
- 216 Wunderle, J.M., Jr. 1994. Census methods for Caribbean land birds. SO-GTR-98. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 26 p.
- 217 Wunderle, J.M., Jr. 1995. Métodos para contar aves terrestres del Caribe. Gen. Tech. Rep. SO-100. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 28 p.

- 218 Wunderle, J.M., Jr. 1995. Population characteristics of Black-throated Blue Warblers wintering in three sites on Puerto Rico. *The Auk*. 112(4): 931-946.
- 219 Wunderle, J.M., Jr. 1995. Responses of bird populations in a Puerto Rican forest to Hurricane Hugo: the first 18 months. *The Condor*. 97: 879-896.
- 220 Wunderle, J.M., Jr. 1997. The role of animal seed dispersal in accelerating native forest regeneration on degraded tropical lands. *Forest Ecology and Management*. 99 (1-2) : 223-235.
- 221 Wunderle, J.M., Jr.; Cortés, R.A.; Carromero, W. 1992. Song characteristics and variation in a population of bananaquits on Puerto Rico. *The Condor*. 94: 680-691.
- 222 Wunderle, J.M., Jr.; Latta, S.C. 1996. Avian abundance in sun and shade coffee plantations and remnant pine forest in the Cordillera Central, Dominican Republic. *Ornitología Neotropical*. 7: 19-34.
- 223 Wunderle, Jr., J.M.; Latta, Steven C. 1998. Avian resource use in dominican shade coffee plantations. *Wilson Bulletin*. 110(2): 271-281.
- 224 Wunderle, J.M., Jr.; Lodge, D.J.; Waide, R.B. 1992. Short-term effects of Hurricane Gilbert on terrestrial bird populations on Jamaica. *The Auk*. 109(1): 148-166.
- 225 Wunderle, J.M., Jr.; Waide, R.B. 1993. Distribution of overwintering Nearctic migrants in the Bahamas and Greater Antilles. *The Condor*. 95: 904-933.
- 226 Yocum, C.; Lugo, A.E. 1995. The economics of Caribbean forestry. Proceedings of the 7th Meeting of Caribbean foresters at Jamaica; 1994 June 13-17; Jamaica. Technical Proceedings R8-TP 23. Atlanta, GA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Region. Río Piedras, PR: International Institute of Tropical Forestry, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, in cooperation with the University of Puerto Rico.
- 227 Yocum, C.; Lugo, A.E., eds. 1997. Protected areas management; Proceedings of the 8th meeting of Caribbean Foresters at Grenada; 1996 June 3-7; St. Georges, GJ. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry: 144 p.
- 228 Zepeda, G.; Lugo, A.E., eds. 1994. Towards sustainable forest resource management in the Caribbean: Proceedings of the 6th meeting of Caribbean Foresters at Martinique; 1994 July 20-24; Martinique. San Juan, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 55 p.

Versión en Español

INVESTIGACIONES ECOLÓGICAS

Ariel E. Lugo
Ecólogo

CAOBA HONDUREÑA

Hice una revisión (Lugo 1999) de investigación relevante a la evaluación del estado de la conservación de la Caoba Hondureña y clarifiqué conceptos erróneos concernientes a la especie y su lugar en los bosques tropicales. Muchos de estos conceptos han nublado el debate tocante a la posibilidad de enlistar a la caoba en el Apéndice II de CITES (por sus siglas en inglés, Convention for the International Trade of Endangered Species). Los datos disponibles fueron usados para enfatizar 14 asuntos de naturaleza punto-contrapunto que rodean la controversia sobre la ecología y gerencia de la Caoba Hondureña. Además, cuatro preguntas críticas tocante a asuntos de erosión genética y la conservación de la variación genética de la Caoba Hondureña a lo largo de su alcance fueron examinados. Se examinaron casos hipotéticos negativos para la situación de la caoba en la América Tropical y estrategias de conservación basadas en la ciencia fueron bosquejadas. De este artículo se reprodujo una hoja informativa que se reproduce a continuación.

Datos sobre la Caoba Hondureña

Durante largo tiempo la complejidad de los bosques tropicales ha retado los esfuerzos de gerencia de los forestales para usarlos de manera sustentable. La aplicabilidad de sistemas silviculturales de zona templada bajo muchas de las condiciones tropicales aún no se ha demostrado. No obstante, un cúmulo grande de conocimiento y experiencia sobre su manejo han sido adquiridos en poco más de un siglo. Esta experiencia ha sido resumida por Dawkins y Philip (1998) y Wadsworth (1997) estableciendo

pautas para el uso sustentable y la protección de los recursos forestales.

La sustentabilidad de la Caoba Hondureña, un árbol sobresaliente de los bosques tropicales, es de interés particular. La madera de este árbol es casi sin par en su valor para la fabricación de muebles. En el bosque, esta especie es ecológicamente adaptable. La producción de semillas es copiosa, aún a edad temprana, el cruce entre árboles es común, la germinación es abundante, las plántulas responden a la luz y crecen bien bajo una amplia gama de condiciones, el uso de nutrientes es eficiente, el crecimiento es rápido, el largo de vida es amplio, y el desarrollo ulterior de la copa domina el dosel del Bosque. La especie está bien adaptada a bosques abiertos por catástrofes o tratamientos silviculturales.

Una propuesta actual para enlistar a la especie en el Apéndice II de CITES, que requiere certificación de una fuente sustentable de caoba en trato comercial, es derivada de un caso hipotético de peor escenario. La amenaza actual o potencial se le atribuye a la deforestación tropical, regeneración natural inadecuada, la erosión genética resultante de la tala de los mejores árboles y pérdidas debido al barrenador.

Otro escenario igualmente apoyado cuestiona la amenaza actual o potencial de la especie. Este escenario nota que la deforestación no está enteramente concentrada en los bosques de caoba y levanta dudas sobre los informes en torno a lo "inadecuado" de la regeneración natural. El escenario encuentra una falta de evidencia de variación genética en tasas de crecimiento y en susceptibilidad al barrenador a través de América Central, y prevé pocas posibilidades

de erosión genética significativa resultante de la tala. No halla evidencia para apoyar pérdidas significativas al barrenador. Más aún, la existencia de 150,000 hectáreas de plantaciones de caoba sugiere la posibilidad de una compensación temprana, en términos de productos, para la remoción de madera de bosques naturales.

Trabajos recientes realizados en el Instituto Internacional de Dasonomía Tropical en Puerto Rico, han contribuido de varias maneras al desarrollo de un modelo con base científica para el manejo de la caoba. La más reciente contribución, que acompaña esta hoja informativa, es "*Point-Counterpoints on the Conservation of Big-Leaf Mahogany*" [Puntos-Contrapuntos sobre la conservación de la Caoba Hondureña] (Lugo 1999). Esta publicación intenta "llamar la atención sobre la investigación relevante para la evaluación del estado de conservación de la Caoba Hondureña y clarificar conceptos erróneos concernientes a la especie y su lugar en los bosques tropicales". El Dr. Lugo expone los siguientes asuntos en su artículo:

- La Caoba Hondureña está adaptada a varias zonas de vida, mayormente en climas secos de tierras bajas o húmedas. Su alcance natural es amplio, alcanzando unos 200 millones de hectáreas desde México hasta Bolivia.
- Los bosques de Caoba Hondureña son vulnerables y necesitan protección y manejo sanos. La especie no está en peligro de extinción, pero el inventario de árboles grandes ha sido reducido por la utilización.
- Los bosques naturales de caoba muestran una distribución tallo-diámetro favorable, con árboles de todos los tamaños y los inmaduros listos para asumir la dominancia, al pasar el tiempo.

- La Caoba Hondureña en el bosque natural y en plantaciones es una especie de crecimiento relativamente rápido. El incremento de caoba, por lo general, puede igualar el volumen del trato internacional, sosteniendo así el volumen en pie total.
- No hay evidencia que la tala cause erosión genética significativa a esta especie. La evidencia disponible hasta ahora sugiere que hay un flujo de genes altos entre las poblaciones de caoba, pero más investigación sobre este punto es deseable.
- El barrenador de la caoba (*Hypsipyla grandella*) ha mostrado ser un insecto manejable de acuerdo con experiencias recientes. Obviamente no es un freno al tamaño o calidad de la Caoba Hondureña cosechada de bosques naturales, ya no impide plantaciones exitosas a gran escala en áreas donde existe el insecto.
- El éxito de regeneración con la Caoba Hondureña depende no sólo de semillas abundantes y suficiente luz para el crecimiento de plántulas, sino también de la regeneración avanzada ya establecida durante la cosecha de los árboles maduros. Los inventarios indican que en bosques de crecimiento antiguo hay árboles inmaduros usualmente presentes.
- El alto potencial de regeneración de la Caoba Hondureña puede ser un tanto impedida por la tala descuidada, pero la explotación maderera de bajo impacto puede proteger las plántulas y árboles inmaduros. Sin embargo, éste último, pudiera no abrir el dosel lo suficiente para promover su crecimiento. Generalmente se necesita tratamiento silvicultural de liberación.

- El manejo forestal activo es la mejor alternativa para la conservación de la Caoba Hondureña. Se conoce lo suficiente como para proveer asesoramiento a los países tropicales si deciden manejar sus bosques. Esto tiene la ventaja acompañante de preservar mucho de la biodiversidad que domina los bosques donde la caoba es un componente.
- La deforestación no necesariamente descarta la producción de la Caoba Hondureña. La deforestación por la cultura maya llevó a poblaciones de caoba más altas que las normales.
- La Caoba Hondureña tiene características que la predisponen para el éxito en plantaciones. Se entiende bien su silvicultura y existen muchos ejemplos de su éxito. Se ha usado para la restauración forestal en áreas agrícolas abandonadas y ha sido sembrada debajo de bosques secundarios que invaden los claros.
- El volumen de caoba vendido internacionalmente cada año es tan sólo el 1 por ciento de su volumen en pie. Esto indica que el estado de amenaza de la caoba es un mito. Además, la preocupación creciente con la sustentabilidad ha hecho que los productores progresistas de productos forestales, preocupados con la porción del mercado comercial obtengan la certificación de sustentabilidad.
- El noventa y seis por ciento de la madera tropical cortada no entra al comercio internacional, haciendo inútil los intentos de reducir la deforestación tropical y la amenaza de especies madereras tropicales a través de la imposición de

requerimientos que afectan sólo al comercio internacional.

- La garantía de una fuente sustentable de madera exportada no es alcanzable para los concesionarios removiendo madera de bosques que no le pertenecen. El adherirse estrictamente a este requisito depreciaría el valor de la madera exportada que no calificaría como sustentable y aumentaría el incentivo de convertir las tierras a otro uso sin siquiera extraer la madera.
- La decisión de enlistar la Caoba Hondureña bajo el apéndice II de CITES es una cuestión de política y no tan sólo una decisión técnica. No obstante, esta decisión debe tomarse teniendo en cuenta la información científica actual que está disponible, incluyendo la presentada en el artículo de Dr. Lugo.

Plantaciones arbóreas

Cuevas y yo (Cuevas y Lugo 1998) estudiamos las tasas y patrones de los flujos de caoba y nutriente en la hojarasca en diez especies arbóreas tropicales de plantación en el Arboretum del Servicio Forestal, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, Forest Service, por sus siglas en inglés) en el Bosque Experimental de Luquillo, Puerto Rico. Los rodales tenían 26 años de edad y crecían bajo condiciones climáticas y edáficas similares. Las especies de plantación individuales tuvieron diferentes alcances en términos de su capacidad para devolver masa y nutrientes específicos al suelo forestal, y con respecto a su eficiencia en el uso de nutrientes. La especie que devolvió mayor masa no devolvió mayor cantidad de P, N, ni cationes. Más aún, las especies mostraron diferencias de acuerdo a la cantidad de N y P reabsorbido antes de la caída de hojas. Estas diferencias reflejan la variación en la respuesta

ecofisiológica de cada especie a condiciones edáficas y climáticas (figs. 1-3). La diferencia entre los valores de resorción promedios y mínimos de las especies estudiadas indican que otros factores ambientales, tales como vientos fuertes o los efectos físicos de lluvias cuantiosas, pueden forzar la caída de hojas no senescentes. El material de mayor calidad, aunque no disponible en cantidad, puede proveer un pequeño pulso de nutrientes disponibles a la comunidad del suelo forestal. Lo mismo aplica a otras fracciones que son altas en nutrientes, pero bajas en masa de hojarasca como lo son las partes reproductivas y materiales misceláneos.

En las áreas donde las limitaciones de agua no son fuertemente estacionales o prevalecientes, las variaciones temporales de hojarasca en el suelo forestal son el resultado combinado de la tasa de caída y de la descomposición del material que cae, y las respuestas diversas de las especies a señales ambientales diferentes (fig. 4). La caída de hoja estuvo inversamente correlacionada a la disponibilidad reducida del agua en tres de las especies estudiadas. La caída de hoja en las demás especies estuvo correlacionada con la duración de la luz sobre o con temperaturas mínimas. Los resultados destacan la importancia de comprender el rendimiento de las especies relativo a su metabolismo de nutrientes y masa antes de seleccionarlas para uso en plantaciones, o para la rehabilitación de tierras degradadas.

Ecología de Disturbios

Los disturbios grandes e infrecuentes (DGI) pueden tener impactos significativos, sin embargo usualmente no se incluyen en los planes de manejo (Dale y otros 1999). A pesar de que esta negligencia puede surgir de la poca familiaridad con un tipo de evento que raramente ocurre en la experiencia o jurisdicción de gerentes individuales, puede reflejar el pensamiento que los DGI pueden ser afectados

por el manejo, y para muchos de aquellos que no pueden ser afectados, la adaptabilidad o recuperación del sistema trastocado por el disturbio puede obtenerse a través de la planificación avanzada que tome en cuenta los DGI, causados tanto por eventos naturales, actividades humanas, o una combinación de ambas. Los planes de manejo para los DGI adoptan una variedad de metas, dependiendo de la naturaleza del sistema y la naturaleza del régimen de disturbio anticipado. Los gerentes pueden optar por influenciar (a) el sistema antes del disturbio, (b) el disturbio en sí, (c) el sistema luego del disturbio, o (d) el proceso de recuperación. Antes del disturbio, el sistema puede ser manejado de manera que altere su vulnerabilidad o cambie su respuesta al disturbio; el disturbio puede ser manejado a través de la no acción, medidas preventivas o manipulaciones que puedan afectar la intensidad o frecuencia del disturbio. Los esfuerzos de recuperación pueden enfatizar el manejo del estado del sistema inmediatamente después del disturbio o manejar el proceso continuo de recuperación. Nuestra revisión de las implicaciones en el manejo de los DGI sugiere que las acciones de manejo deben ir a tono con características particulares del disturbio y las metas del manejo (tabla 1). Las acciones de manejo deben promover la sobrevivencia de residuales y la heterogenidad espacial que dé lugar al patrón y proceso de recuperación deseados. De mayor importancia, sin embargo, los planes de manejo necesitan reconocer los DGI e incluir el potencial para ocurrir que tienen estos disturbios.

Se necesitan estudios a largo plazo para comprender las dinámicas de los bosques tropicales, particularmente aquéllos sujetos a disturbios periódicos tales como los huracanes. Frangi y yo (Frangi y Lugo 1998) estudiamos un bosque de palma *Prestoea montana* en una llanura de inundación en las montañas de Luquillo en Puerto Rico a lo largo de un período

de 15 años (1980-1995), que incluyó el paso del huracán Hugo en septiembre de 1989. El paso del huracán causó que la especie dominante se volviera más dominante y creó mortalidad de árboles instantánea baja (1 por ciento de tallos) y reducción en la biomasa arbórea (-16Mg/ha/yr) y densidad, aunque no en área basal. Cinco años después del huracán, el bosque de palma en la llanura de inundación había excedido su biomasa arbórea sobre tierra (fig. 5), densidad arbórea, y área basal que tenía previo el huracán. La biomasa arbórea sobre tierra se acumuló a razón de 9.2 Mg/ha/yr , 76 por ciento de la cual fue debido a las palmas. Previo al huracán. La hojarasca en el suelo del bosque disminuyó hasta alcanzar los niveles pre-huracán, esta tasa fue de (6.7 Mg/ha), en 5 años, 3 Mg por ha por año, debiéndose mayormente a la desaparición del detrito leñoso. Trece especies arbóreas no representadas en el dosel entraron al bosque por regeneración (tabla 2), y dos especies sufrieron mortalidad de alrededor de 20 por ciento/año a lo largo de un período de 5 años después de la tormenta (promedio en la llanura de inundación de 2 por ciento/año). La mortalidad arbórea demorada fue dos veces más alta que la mortalidad arbórea instantánea después de la tormenta y afectó a los árboles dicotiledóneos más que a las palmas (tabla 3). La regeneración de los árboles dicotiledóneos, palmas y palma de helecho fue influenciada por una combinación de factores incluyendo hidroperíodo, luz y espacio. El Análisis de Datos de Redundancia mostró que el área cercana al canal del río era la más favorable para la regeneración de plantas. La regeneración de palmas fue más alta en localidades con hidroperíodos más largos, mientras que la regeneración de árboles dicotiledóneos fue más alta en áreas con baja probabilidad de inundación (tabla 4). Este estudio muestra cómo un disturbio periódico provee oportunidades a largo plazo para invasiones de especies y respuestas a largo plazo en la escala de parche de $<1\text{ ha}$.

Ecología Básica

Silver y otros (1999) midieron concentraciones de oxígeno en el suelo a profundidades de 10 y 35 cm e índices de ciclaje biogeoquímicos en suelos forestales de tierra alta a lo largo de un gradiente de precipitación y elevación ($3500\text{-}5000\text{ mm y}^{-1}$; $350\text{-}1050\text{ masl}$) y a lo largo de gradientes topográficos (cresta a valle, $\sim 150\text{ m}$) en el Bosque Experimental de Luquillo. A lo largo del gradiente de precipitación, la disponibilidad del O_2 del suelo disminuyó significativamente con el aumento de la precipitación (fig. 6) y alcanzó niveles muy bajos (<3 por ciento) en cámaras individuales por hasta 25 semanas consecutivas, a través de 82 semanas de estudio. A lo largo de gradientes topográficos localizados, las concentraciones de O_2 fueron variables y disminuyeron significativamente de las crestas a los valles. En los valles, hasta el 35 por ciento de las observaciones de 10-35 cm de profundidad fueron <3 por ciento de O_2 en el suelo. El análisis de correlación cruzada mostró que las concentraciones de O_2 en el suelo estaban positivamente correlacionadas a un nivel significativo a lo largo del gradiente topográfico, y eran sensitivas a las salidas (output) de precipitación e hidrológicas. Las concentraciones de O_2 en el suelo de suelos localizados en valles estuvieron correlacionados con la precipitación del día previo, mientras que los sitios de investigación en las crestas estuvieron correlacionados con insumos acumulativos a través de 4 semanas. Los suelos en el punto más húmedo a lo largo del gradiente de precipitación tuvieron concentraciones de metano en suelos muy altos (3-24 por ciento) indicativo de la influencia marcada de procesos anaeróbicos. Medimos la emisión neta de metano a la atmósfera en los lugares más húmedos del gradiente de precipitación, y en los valles a lo largo de gradientes topográficos (tabla 5). Otras medidas de función biogeoquímicas tales como contenido de materia

orgánica y disponibilidad de P eran sensitivas a la disminución crónica de O₂ a lo largo del gradiente de precipitación, pero menos sensitivas al ambiente variable de O₂ mostrado a elevaciones bajas a lo largo de gradientes topográficos.

Extensión Pública

Cada año estoy muy comprometido con la extensión pública y la educación. Las presentaciones que doy en foros nacionales e internacionales se publican en muchas ocasiones, como por ejemplo, la presentación que dí en la conferencia titulada "Biological Diversity, Exploring the Complexities", llevada a cabo en la Universidad de Arizona en el 1997 (Lugo 1998). Este año, publiqué tres manuscritos adicionales en apoyo a estos esfuerzos.

El primero de ellos (Lugo y Mastrantonio 1999) es un resumen de actividades del Instituto a lo largo de sus primeros cincuenta años de existencia. Esta es una publicación muy atractiva con numerosas fotos del personal del Instituto en acción y una narrativa de las condiciones forestales cambiantes bajo el cual ha operado el Instituto en Puerto Rico.

Un segundo manuscrito (Lugo y García Martínó 1996) fue una edición especial de la revista *Acta Científica* dedicada a asuntos de agua en Puerto Rico. Esta publicación está escrita en español y se enfoca en unas 140 preguntas relacionadas al ciclo del agua y su manejo en Puerto Rico. Esta publicación estuvo disponible a maestros de ciencia de escuela secundaria, grupos conservacionistas y agencias gubernamentales que se relacionan con el manejo del agua en Puerto Rico.

La tercera publicación de extensión fue una edición especial de *Tierramérica*, un suplemento ambiental para periódicos con circulación en

Latinoamérica y El Caribe por el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. En esta edición particular, el Instituto y el Servicio Forestal de los Estados Unidos se les dió una cobertura amplia en un artículo sobre el estado actual y la rehabilitación de bosques tropicales (Lugo y Brown 1998). (Ver tablas y figuras, versión inglés).

Literatura Citada

- Cuevas, E.; Lugo, A.E. 1998. Dynamics of organic matter and nutrient return from litterfall in stands of ten tropical tree plantation species. *Forest Ecology and Management*. 112: 263-279.
- Dale, V.H.; Lugo, A.E.; MacMahon, J.A.; Pickett, S.T.A. 1999. Ecosystem management in the context of large, infrequent disturbances. *Ecosystems*. 1: 546-557.
- Dawkins, H.C.; Philip, M.S. 1998. Tropical moist forest silviculture and management: a history of success and failure. CAB International, New York, New York. 359 p.
- Frangi, J.L.; Lugo, A.E. 1998. A flood plain palm forest in the Luquillo Mountains of Puerto Rico five years after Hurricane Hugo. *Biotropica*. 30(3): 339-348.
- Lugo, A.E. 1998. Biodiversity and public policy: the middle of the road. En: Guruswamy, L.D.; McNeely, J.A., eds. *Protection of global biodiversity: converging strategies*. Durham, NC: Duke University Press: 34-45.
- Lugo, A.E. 1999. Point-counterpoints on the conservation of big-leaf mahogany. Gen. Tech. Rep. WO-64. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 21 p.

- Lugo, A.E.; Brown, S. 1998. Los trópicos pueden revivir. *Tierramérica*. 4(1): 6-7, 16.
- Lugo, A.E.; García Martinó, A.R. 1996. Cartilla del agua para Puerto Rico. *Acta Científica*. 10(1-3): 1-89.
- Lugo, A.E.; Mastroantonio, L. 1999. Institute of Tropical Forestry: the first fifty years. Gen. Tech. Rep. IITF-GTR-7. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 56 p.
- Silver, W.L.; Lugo, A.E.; Keller, M. 1999. Soil oxygen availability and biogeochemistry along rainfall and topographic gradients in upland wet tropical forest soils. *Bio-geochemistry*. 44: 301-328.
- Vitousek, P. 1982. Nutrient cycling and nutrient use efficiency. *American Naturalist*. 119: 553-572.
- Wadsworth, F.H. 1997. Forest production for tropical America. *Agric. Handb.* 710. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture. 563 p.

PERSPECTIVA HISTÓRICA

Carlos M. Domínguez Cristóbal
Historiador

Este informe, el cual abarca el periodo comprendido desde el primero de octubre de 1998 al 30 de septiembre de 1999, presenta la perspectiva histórica un compendio de actividades que señala hacia el progreso, desarrollo, y divulgación de un conjunto de proyectos histórico-forestales dentro y fuera de nuestra institución científica. La participación en charlas y conferencias, así como la relación con los municipios y diversas agencias gubernamentales y privadas ha contribuido significativamente en esa dirección. Por otro lado, el advenimiento y consideración de la tenencia y usos de la tierra como uno de los factores que influyen en el presente estado de la flora del país ha motivado que la temática histórico-forestal aflore notablemente.

Las festividades de la Semana de la Tierra; Semana de la Puertorriqueñidad; y la Semana de las Ciencias y Matemáticas figuran, entre otras actividades, como las principales promotoras de varias charlas o conferencias en varias escuelas públicas y privadas del país. Estas se efectuaron en los siguientes lugares:

Escuela Superior Luis Muñoz Rivera,
Utuado
Colegio Bautista de Carolina, Carolina
Colegio de Nuestra Señora del Pilar,
Canóvanas
Carvin School, Inc., Carolina
Bonnevill School, Inc., Cupey Alto.

Los temas principales de estas conferencias fueron: Los bosques de Puerto Rico y Presencia de la flora en nuestra historia.

El tema de los bosques constituyó el eje principal de las actividades alusivas a la Semana de

la Tierra que auspiciara el Departamento de Agricultura de Puerto Rico. La actividad cumbre se efectuó en el Colegio de Agrónomos de Puerto Rico. En dicha ocasión, se presentó el tema "Historia de los bosques de Puerto Rico".

Por otro lado, la Fundación Luis Muñoz Rivera (Trujillo Alto) en coordinación con el Servicio de Extensión Agrícola celebró el taller "Mi ambiente, mi tierra y yo" invitándonos a deponer sobre "Los bosques de Puerto Rico desde la perspectiva histórica".

— Celebración del sexagésimoquinto Aniversario del Servicio de Extensión Agrícola (Centro Gubernamental de Juana Díaz).

— Sesenta Aniversario del Instituto Internacional de Dasonomía Tropical. Siembra de seis árboles de roble nativo en los terrenos de la Estación Experimental Agrícola de Río Piedras. Esta actividad de siembra se realizó en colaboración con la Tropa 116 de los Niños Escuchas del pueblo de Caguas.

Las relaciones con diversas municipalidades así como con la Cámara de Representante de Puerto Rico conducen a que se genere legislación municipal (Ordenanzas Municipales) o de Proyectos de Ley de gran significado histórico-forestal.

— La Asamblea Municipal de Morovis seleccionó su árbol, flor y ave municipal (la ceiba, la rosa y el pitirre) respectivamente como parte integrante de su labor histórico-forestal. La selección del árbol de ceiba como el

árbol municipal se ha integrado en los planes de reforestación de este municipio.

— La municipalidad de Naranjito al auspiciar la obra “El Chango”: Apuntes históricos del pueblo de Naranjito 1824-1998 de Silvestre Morales hace un reconocimiento especial en la portada de la obra al escudo, la bandera, flor, el árbol y el ave municipal.

— El proyecto sobre la selección del árbol, la flor y el ave municipal se encuentra en diversas fases en varias municipalidades: Culebra, Patilla, Juana Díaz, Sabana Grande, Quebradillas y Las Piedras.

— La Asamblea Municipal de Yabucoa nos hizo partícipe (evaluación del proyecto) de las siguientes resoluciones:

• Resolución número 28 Serie 98-99. Recomendar al Gobernador de Puerto Rico y al Departamento de Recursos Naturales y Ambientales establecer política pública para declarar reservas naturales las áreas de planificación especial al Sistema Sierra Cuchilla de Pandura-Guadarraya y los manglares y áreas de Punta Guayanes de Yabucoa y proveer fondos no comprometidos del Tesoro Estatal y para otros fines.

• Resolución número 30 Serie 98-99. Para recomendar al Departamento de Recursos Naturales y Ambientales informar sobre las etapas de planes de manejo de áreas de planificación especial en la jurisdicción de Yabucoa e integrarle al plan de ordenamiento territorial etapa avance y para otros fines.

El asesoramiento o cooperación para con diversas investigaciones de carácter histórico-forestal ha cobrado un auge muy significativo. Entre estas se ubican las siguientes:

— La inherencia de la tenencia y usos de la tierra en el Naranjito de 1950 en la flora naranjiteña del presente (Escuela Superior Francisco Morales-estudiante Angel Luis Santiago Pérez).

— La palma de sombrero en la perspectiva histórica de Puerto Rico (Laura Fernández-Centro de Estudios Avanzados de Puerto Rico y el Caribe).

— Árboles para uso en la reforestación urbana (afiche) Servicio de Extensión Agrícola - Canóvanas, Agro. Nilda González.

— Desarrollo del contorno del Mirador Villalba-Orocovis: especies históricas y simbólicas - Arquitecto Eugenio Fernández.

La labor investigativa de carácter histórico-forestal motivó la publicación de los siguientes artículos:

— “Reseña histórica del Bosque de Maricao Afuera durante los años de la dominación española en Puerto Rico” Acta Científica (Revista de la Asociación de Maestros de Ciencias de Puerto Rico).

— “Panorama histórica de la presencia de la flora en las plazas públicas de los pueblos de Puerto Rico” Revista ICONOS, Colegio Universitario de Humacao, UPR.

Hay tres artículos y un libro muy esperado “Panorama histórica forestal de Puerto Rico” Editorial UPR, “en imprenta”.

— “El inventario de los montes públicos de Puerto Rico” Acta Científica.

— “El Jardín Botánico de Puerto Rico 1852-1949” XVII Simposio de Flora y Fauna de Puerto Rico y el Caribe, Colegio Universitario de Humacao, UPR.

- “Efectos de los cambios poblacionales y la reorientación de la economía en la situación forestal de Puerto Rico durante el siglo XIX” Revista Exégesis, Colegio Universitario de Humacao, UPR.
- “Panorama Histórica Forestal de Puerto Rico, Editorial UPR.

Entre los proyectos a los cuales se les ha otorgado seguimiento figuran los siguientes:

- La tenencia y usos de la tierra en el Cañón de San Cristóbal (en colaboración con el Fideicomiso de Conservación de Puerto Rico).
- La toponimia forestal en los nombres de los pueblos y barrios de Puerto Rico.
- Los símbolos municipales: árbol, flor y ave.
- Presencia de la flora en los escudos municipales de Puerto Rico.
- La flora (árboles y arbustos) en las plazas públicas de los pueblos de Puerto Rico (diapositivas). Este año se cubrieron los siguientes pueblos: Barranquitas, Comerío, Cidra, Aguas Buenas, Cayey, Juana Díaz, Villalba, Santa Isabel y Coamo.
- Árboles históricos de Puerto Rico (diapositivas y documentación). Durante el año se trabajó parcialmente en Quebradillas (ceiba), Orocovis (mango), Lares (tamarindo) y Toa Alta (bala de cañón). Estos dos últimos se ubican en las plazas públicas de sus respectivos pueblos y poseen un historial de carácter político.
- La legislación forestal de Puerto Rico durante la incumbencia de la Cámara de

Delegados (1900-1917). Este año fueron evaluadas 87 cajas de documentos (Archivo General de Puerto Rico) pasando a fotocopiar los de mayor importancia para ser incorporados eventualmente en nuestra biblioteca. Del análisis preliminar se desprende la intensidad de la legislación forestal presentada por el Partido Unionista de Puerto Rico y que por ende condujo a la eventual propuesta de la Ley de Bosques del 22 de noviembre de 1917.

- La tenencia y usos de los terrenos hoy forestales (Bosque Nacional del Caribe) del barrio Sabana de Luquillo. Hasta el momento han sido evaluados 20 cajas de documentos procedentes del Departamento de Hacienda-Negociado de Tasación Sobre la Propiedad (Archivo General de Puerto Rico).
- Presencia de la flora en los festivales de Puerto Rico (recopilación de información de naturaleza periodística).
- Índice de la legislación forestal de Puerto Rico 1900-1950. Se realiza esta investigación con la colaboración de la Escuela Graduada de Leyes de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras.
- Presencia de la flora en los himnos municipales de Puerto Rico.
- El establecimiento de los primeros bosques en los países que componen el Hemisferio Americano, (mediante correspondencia).
- Inherencia de las raíces en un proyecto de biomasa con varias especies de caobas. Se finalizó el trabajo de campo (incluyendo el fotográfico) y se procede

al análisis estadístico de los datos producidos en el campo para continuar con el manejo de muestras para el correspondiente análisis químico.

Dos nuevos proyectos cooperativos han surgido (en colaboración con el Colegio Universitario de Humacao, UPR) Profesor Carlos Pérez.

La tenencia y usos de los terrenos hoy forestales del Bosque Estatal de Carite desde la perspectiva histórica. El Bosque de Carite en las cuencas hidrográficas que le circundan.

Los trabajos cooperativos con las escuelas superiores Pablo Colón Berdecía de Barranquitas y Luis Muñoz Rivera de Utuado fueron reanudados al comenzar el año escolar

1999-2000. La principal labor de investigación está orientada hacia el estudio y evaluación del huracán Georges en sus respectivas zonas de estudio. No obstante, una nueva escuela se incorporó en los planes de investigación forestal, la Escuela Superior Juan Ponce de León del pueblo de Florida. El área de investigación consta al presente de un mogote cercano a la escuela. El profesor Elliot López Machado se encuentra asistiendo en la investigación.

Finalmente, nos relacionamos con el Departamento de Salud y Recursos Humanos (Administración de Drogas y Alimentos) del Distrito de San Juan de Puerto Rico en la celebración del Mes de la Hispanidad. En dicha ocasión presenté la exposición-charla "Los envases de papel en la venta comercial del café en Puerto Rico".

RESTAURACIÓN DE BOSQUES ATLÁNTICOS EN EL ESTADO DE SÃO PAULO

John A. Parrotta

Investigación de Gerencia y Rehabilitación Forestal

y

Vera Lex Engel

Departamento Ciencias Forestales

Universidade Estadual de São Paulo-FCA, Botucatu, SP, Brasil

La formación forestal conocida como "Mata Atlântica" en Brasil es uno de los centros mundiales más importantes de biodiversidad tropical y uno de los más amenazados por la deforestación, fragmentación, y degradación. Fuera de las unidades protegidas de conservación, muchas de las áreas de bosque Atlántico remanentes están bajo la amenaza constante de fuego y otras presiones humanas. Hay un incremento en el reconocimiento público de la importancia de la conservación y restauración forestal en el Estado de São Paulo y, debido a cambios recientes de políticas y legislación ambientales, existe una expansión de oportunidades para implementar estrategias creativas para la rehabilitación de tierras degradadas para beneficios socioeconómicos y ambientales múltiples. Para que la rehabilitación forestal sea efectiva y aplicable al paisaje agrícola de esta región, la investigación tiene que tomar en cuenta las realidades políticas, económicas y sociales de la región, y desarrollar estrategias para la reforestación y restauración de ecosistemas que sean económicas y provean algún nivel de retorno económico directo a los terratenientes.

El objetivo de este programa de investigación cooperativa de 10 años de duración es de evaluar la viabilidad ecológica, económica y social de varios diseños de plantaciones para restaurar bosques Atlánticos estacionales semidecíduos bajo diferentes condiciones de sitio (fertilidad de suelo variable y patrones florísticos a nivel de paisaje) y

regímenes de gerencia. Se establecieron en 1997-98 plantaciones experimentales que envolvían diferentes mezclas de especies forestales nativas en tres sitios degradados contrastantes en Botucatu-SP. En cada sitio de investigación, se establecieron un total de 4 ha de plantaciones experimentales que incluyen tres réplicas de los siguientes cinco tratamientos:

- (1) Control (pastizales degradados);
- (2) Sembrado directo con 5 especies arbóreas de sucesión temprana (usadas primordialmente para combustible);
- (3) Sistema de taungya (agroforestal) modificado que envuelve plantaciones mixtas en línea de 11 especies para combustible de crecimiento rápido y 10 especies madereras de crecimiento más lento, interplantadas con cosechas anuales durante los primeros 2 a 4 años;
- (4) Una mezcla de 10 especies multi-usos de crecimiento rápido y 13 especies comerciales de crecimiento más lento; y
- (5) "Sembrados de restauración" incluyendo 36 especies nativas del dosel o sotobosque representativas de los grupos ecológico-silviculturales halladas en remanentes forestales locales.

Durante el curso del estudio, se tomarán en cuenta los siguientes parámetros para evaluar los tratamientos y efectos de sitio:

- (1) Crecimiento y rendimiento de especies plantadas;
- (2) Cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo;
- (3) El reciclaje de nutrientes y el desarrollo de la mesofauna del suelo;
- (4) Utilización de las plantaciones por la vida silvestre y dispersión de semillas en bosque nativo;
- (5) La lluvia de semilla, bancos de semilla en el suelo y la regeneración natural por especies forestales que colonizan las plantaciones desde fragmentos forestales cercanos; y
- (6) Costos económicos y beneficios de los "modelos" de rehabilitación.

Hasta la fecha, este proyecto ha arrojado datos sobre la sobrevivencia y crecimiento temprano de 45 especies forestales nativas Atlánticas, la mayoría de las cuales no han sido expuestas a ensayos de campo previamente; también ha arrojado datos fundamentales sobre las propiedades físicas y químicas del suelo, procesos de suelo biológicos tales como la biomasa microbial, la respiración del suelo y mineralización de nitrógeno en tratamientos experimentales y en fragmentos de bosque secundario tardío cercano; así como también análisis de costo-beneficio para los tratamientos modificados taungya (agroforestal) basados en los primeros 2 años de producción (4 rotaciones de cosechas).

Estos experimentos se llevan a cabo en colaboración con miembros de la facultad y estudiantes de los Departamentos de Ciencia Forestal de la Universidad del Estado de São Paulo (UNESP) en Botucatu y la Universidad de São Paulo-ESALQ en Piracicaba. Los sitios experimentales también sirven de áreas de demostración con el apoyo de UNESP y fundaciones educativas y conservacionistas locales del sector público y privado.

Conferencia Internacional sobre Reforestación Tropical para el Nuevo Milenio 23-28 de mayo de 1999, San Juan de Puerto Rico

La conferencia, llevada a cabo juntamente con la 4ta Conferencia Forestal Anual de Puerto Rico, fue organizada por el Instituto Internacional de Dasonomía Tropical (Servicio Forestal, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) y la Universidad de Puerto Rico en conjunto con IUFRO (por sus siglas en inglés, International Union of Forestry Research Organizations) y la Sociedad para la Restauración Ecológica (SER, por sus siglas en inglés, Society for Ecological Research). La conferencia logró unir investigadores, practicantes de restauración, educadores, estudiantes, así como gerentes de tierra del sector público y privado de una diversidad de antecedentes y perspectivas para discutir el estado actual de la rehabilitación de bosque tropical y la investigación y prácticas de restauración a nivel mundial. La reunión, que incluyó sesiones plenarias, técnicas, y carteles con 75 presentaciones en una variedad de tópicos, tuvo más de 150 participantes de 25 países en Norte y Sur América, El Caribe, Europa, África, Asia y Australia. El discurso de apertura, titulado "The Restoration of Research" [La Restauración de la Investigación], fue presentado por el Presidente de IUFRO Jeffery Burley. Los deponentes en sesiones plenarias incluyeron, entre otros, Dan Janzen, Joseph Wunderle, David Lamb y Jean C.L. Dubois. Las sesiones técnicas cubrieron una amplia gama de tópicos relacionados a la ecología de la sucesión forestal tropical y sus implicaciones para la restauración, restauración del ecosistema del manglar, el rol de la vida silvestre y procesos bajo tierra en la regeneración forestal tropical, asuntos sociales y económicos, gerencia del ecosistema de bosque urbano, y el rol de los terratenientes y comunidades individuales en la rehabilitación del paisaje tropical. Los viajes

de campo, cubriendo los principales ecosistemas de tierras bajas, tierras altas y humedales en Puerto Rico, enfatizaron el impacto de cambios de uso de tierra, prácticas gerenciales e iniciativas de conservación/restauración que afectan su estado ecológico y valor social actuales.

Otras actividades de rehabilitación y restauración forestal

Los resultados de un estudio a 10 años sobre productividad, ciclaje de nutrientes y desarrollo de la biodiversidad en plantaciones de una especie y de especies mixtas establecidas en un sitio costero degradado en Puerto Rico (Toa Baja) fueron completados durante este año (Parrotta 1999). Los estudios de restauración forestal en minas de bauxita en Trombetas, Estado de Pará (Brasil), fueron completados, y un análisis ecológico comparativo de una variedad de técnicas de reforestación ensayadas en este sitio fue publicado (Parrotta y Knowles 1999).

Literatura Citada

- Parrotta, J.A. 1999. Productivity, nutrient cycling and succession in single- and mixed-species plantations of *Casuarina equisetifolia*, *Eucalyptus robusta* and *Leucaena leucocephala* in Puerto Rico. *Forest Ecology and Management*. 124: 45-77.
- Parrotta, J.A., comp. 1999. Tropical restoration for the new millennium: 4th annual Puerto Rico forestry conference; 1999 May 23-28;

San Juan, PR. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 139 p. [abstractos].

- Parrotta, J.A.; Knowles, O.H. 1999. Restoring tropical moist forests on bauxite mined lands in the Brazilian Amazon: a comparative analysis of afforestation techniques. *Restoration Ecology*. 7(3): 103-116.

Presentaciones y Seminarios

“Restoring tropical forests on bauxite mined lands: lessons from the Brazilian Amazon.” Keynote presentation, International Symposium on Ecology of Post-Mining Landscapes, Cottbus, Germany, 15-19 March 1999.

“Restoration of Atlantic forests on degraded sites in São Paulo State, Brazil.” Paper presented by co-author V.L. Engel at a conference on *Tropical Restoration for the New Millennium*, San Juan PR, 23-28 May 1999.

“Ecological Restoration of Bauxite Mined Lands in the Brazilian Amazon: Mineração Río do Norte (MRN), Trombetas, Pará.” *World Bank, East Asia Environment Sector Unit, Ecological Restoration Workshop*, Washington, DC, 10 June 1999.

“Restauração x Recuperação: tendências e perspectivas mundias.” Keynote presentation (invited) by co-author V.L. Engel at *I Simpósio Brasileiro sobre Restauração Ecológica de Ecossistemas Naturais*, Piracicaba, SP, Brazil, 14-17 June 1999.

ESTUDIOS ESPECIALES

Frank H. Wadsworth

Investigador Forestal

La carta circular bilingüe de carácter trimestral de la Sociedad Internacional de Forestales Tropicales, ISTF Noticias, continuó a través del año. Se le envía a alrededor de 1,500 miembros con subscripciones a través del mundo, incluyendo 83 países tropicales. La carta es procesada por la Sociedad de Forestales Americanos en Washington, D.C. El editaje en el Instituto consistió del examen cuidadoso de literatura técnica y la selección y extracción de texto pertinente para una audiencia amplia compuesta por aquellos que se oponen a la manipulación forestal y aquellos que la hacen. Durante el año fiscal 1999 se generaron 95 documentos, 2 editoriales y una revisión de un libro.

Se ofrecieron propuestas para la intensificación de gerencia y uso del mangle de Mankoté en la isla de Santa Lucía. El manglar más grande de esta isla, ha sido y sigue siendo usado, para la producción de carbón. Durante dos visitas, se perfeccionaron planes para inventariar el mangle para hacer posible el relacionar el nivel de uso con el nivel de reemplazo, asegurando así la sustentabilidad. También se realizaron estudios de cosecha parcial de los tocones para intentar reducir la mortalidad seguida de cosechas completas. Para mejorar el ingreso obtenido por rendimiento, un cambio en el método fue ensayado: en lugar de usar toda la producción para carbón, las varas derechas para andamiajes se vendieron, y el restante usado para carbón. Se halló un buen mercado para las varas y los mejores tallos ya no son convertidos a carbón. Los aspectos comunitarios de este programa son vitales y, aunque complejos, se espera que sean fortalecidos por el ingreso aumentado por las varas. La asistencia del IIDT es ofrecida a través

del "Caribbean Natural Resources Institute" (CANARI, por sus siglas en inglés), con oficinas centrales en Santa Lucía.

A través de una invitación de COHDEFOR y la cooperación de CIDA Canada, Wadsworth participó en una conferencia con énfasis en la contribución de los bosques planifolios al desarrollo sostenible de Honduras. La ocasión se debió al reconocimiento general que el futuro de bosques en Honduras no depende predominantemente de sus bosques de coníferas. El evento presentó la oportunidad de revisar el uso racional de tierras y lo que se ha encontrado en el hemisferio occidental en torno a la gerencia y mejoramiento de la productividad de los bosques planifolios.

El Servicio Forestal de los Estados Unidos ha apoyado, a través de la Fundación de Bosques Tropicales (TTF, por sus siglas en inglés, Tropical Forest Foundation), una comparación excelente de la explotación forestal de impacto reducido con la explotación convencional en el este de Brasil. Es la localidad de un experimento del IIDT sobre liberación de árboles luego de la tala. Una extensión de este proyecto ha sido la capacitación de muchos leñeros en Brasil. El TTF recibió una expresión de interés para este tipo de capacitación en Guyana. El TTF estaba interesado, pero necesita financiamiento adicional y le solicitó asistencia al Servicio Forestal. El explorar el ambiente en Guyana para la aplicación de dichas técnicas, si se ofrecía la capacitación, era una tarea del IIDT. Una cuestión particular era el grado de interés de parte del gobierno, que debe promover las prácticas mejoradas una vez se capaciten los trabajadores locales. Los contactos con la Comisión Forestal de Guyana, la Asociación de

Productos Forestales, las agencias de asistencia británicas y neerlandesas llegaron a la conclusión de que el gobierno apoyaba el asunto, y de hecho, estaba siendo apoyado de manera más eficaz dentro del país. También aparentaba que los candidatos, que eran en realidad capataces de leñeros, los que en realidad iban a usar las técnicas enseñadas a través de la capacitación, en contraste con estudiantes universitarios, podrían ser reclutados durante la temporada demasiado húmeda para explotación en Guyana y no en Brasil.

Con relación al seguimiento de una reunión del Grupo de Estudio de Silvicultura de la Comisión Forestal Norteamericana de la FAO (por sus siglas en inglés, Food and Agriculture Organization of the United Nations) se le otorgó al IIDT una subvención a través de la Universidad del Estado de Iowa para un taller de investigación forestal en Quintana Roo, México. La participación del IIDT fue una proyección de investigación a largo plazo con la caoba.

Los participantes representaban muchas instituciones regionales. El énfasis primordial lo fue el uso de los éjidos como fuentes de investigación en beneficio propio. Se señaló que la gente joven comienzan a dejar los éjidos y que el potencial de muchas especies además de la caoba y el cedro, ahora escasas, no son suficientemente conocidas. Las consideraciones sociales fueron reconocidas entre un subgrupo de científicos sociales. Otro grupo exploró la restauración de tierras degradadas y las

posibilidades agroforestales. Hubo también un grupo de silvicultura, que entre otras cosas, trabajó con la restauración de la caoba. Los representantes de cada grupo formaron un comité para formalizar la organización y prioridades entre las variadas propuestas de investigación. Se proyectó una reunión para una fecha futura para asignar responsabilidades. Una señal de optimismo lo fue el grado de cooperación de los éjidos, que Patricia Negreros, su líder, había podido generar en sus ensayos de reforestación de milpas abandonadas. El IIDT ha sido el auspiciador de esta actividad y posiblemente continúe en este rol de apoyo.

Tarde en el año el IIDT aceptó una asignación de la FAO para actualizar la evaluación mundial forestal (FRA 2000, por sus siglas en inglés, Forest Resources Assessment 2000) para la región del Caribe. La tarea consiste en obtener de cada isla y país la mayor información disponible tocante al área y características de la cobertura forestal.

Dos estudios de aplicabilidad internacional fueron analizados y preparados para revisión estadística final. Uno relata la ocurrencia y crecimiento a través de 24 años de 18 especies de árboles de bosque pluvial con su ambiente inmediato, incluyendo topografía, aspecto, pendiente, y densidad forestal. El otro predice la tasa de crecimiento de árboles cultivados en plantaciones de *Pinus caribaea hondurensis* en suelos arcillosos y arenosos relativo a diámetro inicial y espacio promedio disponible a los árboles.

LA INVESTIGACIÓN DE BOSQUES NATURALES EN PUERTO RICO

Peter L. Weaver
Investigador Forestal

Monitoreo del bosque enano

Muestreo estratificado por topografía en el bosque enano del Bosque Experimental de Luquillo indicó que muchas especies demostraban preferencias topográficas, favoreciendo hondonadas o pendientes o crestas (Weaver 1999). La mortalidad demorada post-huracán (1.3 y 6.3 años) en cuadrantes de estudio permanentes establecidos luego del paso del huracán Hugo en septiembre de 1989 redujo la cantidad de tallos en Pico del Este por 21 por ciento, impactando de manera notable los dap y rangos de altura más pequeños en las crestas. La mortalidad varió por especies, con la palma *Prestoea montana* (R. Graham) Nichols mostrando la mejor supervivencia y el árbol *Clusia clusiodes* (Griseb.) D'Arcy mostrando la más pobre. La regresión de biomasa epifítica expresada como una función del dap del fuste o rango de la corona no se correlacionó tan bien bajo condiciones post-huracán como lo hicieron bajo condiciones pre-huracán. A pesar de que la caída de hojarasca total fue prácticamente la misma, la fracción de a hojas declinó y la fracción de madera aumentó. La mortalidad arbórea disminuyó la biomasa sobre tierra luego de la tormenta. La productividad primaria neta total sobre tierra muestreada entre 1.3 a 2.3 años luego de Hugo fue 20 por ciento mayor que antes de la tormenta cuando un estimado de 5 años del detrito grueso promedio, desde 1.3 años hasta 6.3 años post-huracán, le fue añadido.

La Reserva Natural Cabezas de San Juan

La punta noreste de Puerto Rico, de unas 178 ha, que es conocida localmente como "La Reserva Natural Cabezas de San Juan", es gerenciada por el Fideicomiso de Conservación de Puerto Rico para proteger la belleza escénica del lugar y para proveer educación ambiental y

oportunidades de investigación a los residentes de la Isla y a sus visitantes (Weaver y otros 1999a y 1999b). El punto más alto del terreno es ocupado por un faro (El Faro). Construido en el 1880, El Faro provee un panorama escénico de la costa noreste, islas fuera de la costa, y las montañas de Luquillo. El estado actual del conocimiento tocante al ambiente, i.e. geología, fisiografía, suelos, clima, flora, fauna, e influencias humanas en el pasado, está resumido para información general del público y sirve de base para la investigación futura. Información nueva sobre especies de plantas y su presencia y abundancia relativa también es provista. La Reserva tiene al menos 355 especies de plantas y 96 especies de aves. La protección continúa proveerá una amplia oportunidad para expandir las oportunidades educacionales en la Reserva incrementando así el conocimiento científico de sus recursos terrestres y acuáticos.

Literatura Citada

- Weaver, P.L. 1999. Impacts of Hurricane Hugo on the dwarf cloud forest of Puerto Rico's Luquillo Mountains. *Caribbean Journal of Science*. 35(1-2): 101-111.
- Weaver, P.L.; Medina, R.M.; Coll Rivera, J.L. 1999a. Las Cabezas de San Juan Reserve: a natural treasure in northeastern Puerto Rico. Gen. Tech. Rep.-IITF-6. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 27 p.
- Weaver, P.L.; Ramírez, J.L.; Coll Rivera, J.L. 1999b. Las Cabezas de San Juan Nature Reserve (El Faro). Gen. Tech. Rep.-IITF-5. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 58 p.

INVESTIGACIÓN EN VIDA SILVESTRE

Joseph M. Wunderle, Jr.
Biólogo de Investigación de Vida Silvestre

Durante el año fiscal 1999 continuamos tres estudios, apoyamos estudios cooperativos, y publicamos los resultados de investigaciones sobre vida silvestre previas. Estas actividades están resumidas en las siguientes líneas:

Proyectos de campo actuales

1. Efectos de explotación forestal de bajo impacto sobre aves y murciélagos en el sotobosque en el Bosque Nacional de Tapajós

Los bosques tropicales continentales son caracterizados por una alta diversidad de especies, muchas de las cuales son raras. En ningún otro lado esto es más evidente que en los bosques amazónicos del Brasil, donde nuestros estudios colaborativos actuales con investigadores del Museo Goeldi y el Dr. Michael Willig de la Universidad Texas Tech están ayudando a caracterizar los ensamblajes de aves y murciélagos en el sotobosque del Bosque Nacional Tapajós cerca de Santarém. Nuestros estudios colaborativos basados en la técnica "mist netting" nos facilita el describir y caracterizar la diversidad de aves y murciélagos en el sotobosque forestal, y más importante, sirve de control para examinar los efectos de la explotación forestal de bajo impacto en estos componentes de la fauna en un bosque amazónico. Dichos estudios son beneficiosos para desarrollar métodos de explotación y silvicultura para el trópico que minimizan la pérdida de la biodiversidad y aseguran que los animales dispersadores de semillas se mantengan en los lugares gerenciados para proveer dispersión de semillas adecuadas.

Nuestra colaboradora brasileña, Magalli Henriques, muestreó aves con redes ("mist

nets") a lo largo de los pasados 23 meses y ha anillado 1,612 individuos de unas 115 especies en dos bloques control de 100 hectáreas de bosque terra firma no perturbado en el Bosque Nacional Tapajós. Esta muestra de especies representa un 89 por ciento de las 129 especies conocidas de muestras de red de estos dos bloques, y un bloque perturbado y dos bloques explotados y 48 por ciento de las 267 especies actualmente detectadas en este lugar por Henriques.

La tasa de acumulación de especies de aves fue más alta en el bloque de control 1 (fig. 1), que contenía una porción de bosque secundario de "crecimiento viejo" (old growth) en contraste con el bloque control 3 que consistía solamente de bosque maduro. Dependiendo del bloque, la tasa de acumulación de especies fue más alta en los primeros 400 a 500 individuos capturados. En general, para los dos bloques, el número acumulativo de especies alcanzó una asíntota de aproximadamente 110 especies. Usando procedimientos que envolvían muestreo sin reemplazo de estos datos de red estimamos que aproximadamente 150 especies de aves ocurren en el sotobosque del bosque terra firma del bosque Tapajós. Sin embargo, muchas de estas especies son raras, ya que la Srta. Henriques encontró que de las 115 especies capturadas, el 20 por ciento estaba representado por solamente un individuo. Usando una definición común aceptada de rareza (≤ 2 por ciento de la muestra), Henriques encontró que el 90 por ciento (104) de las 115 especies en los dos bloques eran raras.

La rareza y diversidad de la fauna, como se ve aquí, ilustra el reto al cual se enfrentan los gerentes forestales preocupados con mantener la biodiversidad en bosques de producción

maderera en bosques del Amazonas. A pesar de que nuestros estudios sobre murciélagos está en etapas tempranas, los estudios preliminares también indican alta diversidad en el sotobosque del bosque Tapajós. Nuestros estudios actuales en la investigación del Amazonas enfatiza los efectos de la explotación forestal de bajo impacto en un esfuerzo para desarrollar las mejores estrategias gerenciales que mantengan la diversidad silvestre en los bosques tropicales.

2. Movimientos, localidad, y uso de habitat por la Boa Puertorriqueña en el Bosque Experimental de Luquillo (BEL)

Estamos ahora en el tercer año de un estudio sobre la especie amenazada con extinción, Boa Puertorriqueña (*Epicrates inornatus*), basado en radio transmisores quirúrgicamente implantados que nos permiten usar radio telemetría para localizar y seguir a las culebras en el BEL. Los lugares donde se hallan las culebras con transmisores por radio telemetría son colocados en mapas usando GPS (por sus siglas en inglés, Global Positioning System) que nos permite cuantificar los movimientos y determina el tamaño del alcance de la localidad ("home range") de la boa. El paso del huracán George en septiembre 1998 parece tener poco o ningún efecto en las cinco boas con transmisores que en aquel entonces estábamos siguiendo. Los trabajos de campo continuarán al menos por un año para documentar más la historia natural y movimiento de estas serpientes.

3. La fenología de algunos frutos comunes consumidos por la Cotorra de Puerto Rico

Estamos actualmente en el tercer año de un estudio fenológico diseñado para monitorear la producción de fruto de los árboles y lianas más comunes en el bosque de Palo Colorado del BEL. El estudio envuelve muestreo mensual de plantas marcadas a lo largo de veredas en Caimitillo (10 especies, 122 individuos

originalmente) y Palo Hueco (11 especies, 144 individuos originalmente). El estudio está diseñado para caracterizar la variación en la producción de frutos para el entendimiento del comportamiento de la Cotorra Puertorriqueña e identificar los periodos de tiempo más importantes para soltar cotorras producidas en el aviario.

El huracán Georges pasó por el BEL en septiembre de 1998, justo cuando terminábamos dos años de muestreo fenológico, teniendo así datos de base para comparaciones post-huracán. Tal y como hallamos previamente luego del huracán Hugo, permaneció poco fruto en las plantas marcadas luego de la tormenta y los patrones fenológicos se salieron de fase en comparación con los patrones normales pre-huracán. Continuaremos monitoreando la recuperación de producción de fruto en estos lugares de estudio mensualmente.

Estudios cooperativos de investigación durante este período

1. Movimientos, localidad, y comportamiento alimenticio de las Boas Puertorriqueñas congregadas en una fuente rica de alimentos

Se conoce que las Boas del género *Epicrates* se congregan alrededor de las entradas de cuevas donde se alimentan de murciélagos que se mueven dentro y fuera de sus lugares de descanso. Tal comportamiento fue encontrado en la Boa Puertorriqueña, especie amenazada, la cual fue estudiada por Alberto R. Puente-Rolón (1999), un estudiante graduado de maestría trabajando bajo la dirección del Dr. Fernando Bird-Picó, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez y subvencionada parcialmente por Vida Silvestre-IIDT. Puente-Rolón estudió las serpientes en "Cuevas de los Culebrones", localizada en la Reserva de Mata de Plátano localizada a 7 km al suroeste de Arecibo, Puerto Rico.

Durante sus estudios Puente-Rolón (1999) encontró que las serpientes fueron capturadas en la entrada de la cueva entre las 1745 hasta las 0600 horas, pero más frecuentemente entre las 1900 a 2400 horas. El tiempo de manejo promedio para una serpiente que capturaba a un murciélago en la entrada era de 12.5 min. El tamaño del alcance de la localidad (home range) promedio para seis hembras con radio transmisores era de 7,800 m², mientras que el alcance de localidad (home range) promedio para cinco machos era 5,000 m² usando el método de polígono convexo mínimo. Durante el promedio no reproductivo las hembras usaron un área de 22,119 m² en contraste a los machos que usaron solo 1,326 m². El patrón de movimiento durante el período reproductivo cuando los machos se movieron ampliamente (18,500 m²) las hembras se movieron tan solo un poco menos (16,940 m²) que en el período no reproductivo. Diez de las once serpientes con radio transmisores volvieron al menos dos veces a la cueva. Diferencias sexuales significativas en el alcance de localidad estaban ausentes para *E. inornatus*, a pesar de que se pudo observar una tendencia a mayores alcances de localidad para las hembras. Puente-Rolón recomendó que los sitios se gerenciaran para asegurar que todos los componentes de habitat necesarios a la boa estuvieran disponibles en manchas discretas; tal que los sitios para alimentación, termoregulación, reproducción, y protección estén disponibles dentro de un área limitada.

Publicaciones durante este período

Como parte de nuestros estudios sobre el rol de plantaciones de café en sombra natural como refugio potencial para aves que viven en bosques en paisajes deforestados o degradados en los trópicos, publiqué un artículo sobre uso de habitat por aves en plantaciones de sombra (Wunderle 1999). En este estudio, aves residentes y migratorias neárticas fueron

muestreadas por el método de conteo de puntos en 40 plantaciones de café en sombra de pequeño a mediano tamaño (0.07 - 8.65 ha) con un sotobosque de *Inga vera* en la Cordillera Central, República Dominicana. El propósito de este estudio fue determinar la importancia relativa del área de plantación, aislamiento, y estructura de hábitat a la distribución y abundancia de aves. La variación en abundancia no estuvo relacionada al área de plantación en 7 especies migratorias, pero la abundancia local de 4 especies residentes aumentó significativamente con el área. La elevación fue la única variable que contribuyó significativamente al número total de especies por plantación (menos especies a elevaciones más altas) y ninguna de las variables de habitat contribuyó significativamente a la variación en el número total de especies migratorias. En contraste, el número total de especies residentes estuvo significativamente correlacionada con varias variables: números más altos de especies residentes fueron hallados en plantaciones más grandes y más viejas a elevaciones más bajas y en las plantaciones con tallos numerosos > 3 cm dap con poca o ninguna poda de ramas del dosel, y cobertura máxima del dosel a 12.0 - 15.0 m. De estos resultados, Wunderle (1999) concluyó que se deben promover plantaciones de café con altos niveles de diversidad estructural y florística para la conservación de aves y hasta las plantaciones más pequeñas, si no están muy aisladas por áreas sin árboles, pueden contribuir a la abundancia de aves y a la diversidad en las regiones agrícolas en el trópico.

Estudiamos el uso del recurso alimenticio por las aves en bosques de pino nativo (*Pinus occidentalis*) en la Cordillera Central de la República Dominicana para comprender mejor cómo las aves nativas y migratorias usan los bosques de pino (Latta y Wunderle 1998). Se estudiaron aves en bosque de pino abierto con un dosel moderadamente abierto y un sotobosque denso de planifolios mixtos y pino.

Un análisis de componentes principales de 23 caracteres de forrajeo fue usado para 23 especies de aves que incluyó altura del forrajeo, uso proporcional de cinco métodos diferentes de forrajeo, 3 posiciones horizontales y densidades de follaje, y 11 sustratos de forrajeo. Cinco componentes principales comprendían el 74 por ciento de la varianza total del ensamblaje de variables y resultó en la delineación de al menos 5 comunidades de forrajeo, el 78 por ciento de las especies de aves tenían alturas de forrajeo de 5.0 - 10.0 m, correspondientes a la región de solape de pino y vegetación planifolia. Como resultado, la diversidad de sustratos de forrajeo y maniobras usadas por pájaros, más que altura de forrajeo, parece ser el método primario en que las aves que explotan este hábitat se separan ecológicamente. Las aves migratorias invernantes (mayormente Parulidae) pueden integrarse a la comunidad probablemente porque existe muy poco solape entre residentes y migratorias, y también debido a la naturaleza relativamente especializada de su

comportamiento de forrajeo mayormente insectívoro. (Ver figura, versión inglés).

Literatura Citada

- Latta, S.C.; Wunderle, J.M. 1998. The assemblage of birds foraging in native West Indian pine (*Pinus occidentalis*) forests of the Dominican Republic during the nonbreeding season. *Biotropica*. 30: 645-656.
- Puente-Rolón, Alberto R. 1999. Movements, home range, and feeding behavior of Puerto Rican Boas congregating at a rich food source. Mayagüez, PR: University of Puerto Rico. M.S. thesis.
- Wunderle, J.M. 1999. Avian distribution in Dominican shade coffee plantations: area and habitat relationships. *Journal of Field Ornithology*. 70: 58-70.

DISTURBIOS DE SUELO CAUSADOS POR ÁRBOLES DESARRAIGADOS LUEGO DEL HURACÁN GEORGES

Melanie T. Lenart
Universidad de Arizona

A pesar de que el huracán Georges fue recibido con quejas por los isleños e investigadores deseosos de estudiar algo, además de los efectos de los huracanes, su paso por Puerto Rico en septiembre de 1998 ofreció la oportunidad de hacer un estudio detallado de volumen de suelo alterado por el desarraigo de árboles. El estudio, de tres meses de duración, fue parte de un proyecto progresivo de investigación cooperativo entre el IIDT, el Servicio Geológico de los Estados Unidos (U.S. Geological Survey o USGS por sus siglas en inglés), y la Universidad de Arizona. Este proyecto contempla los disturbios del suelo debido al desarraigo en bosques tropicales de Puerto Rico y bosques templados en Colorado. Esta investigación se lleva a cabo en cooperación con Waite Osterkamps del Servicio Geológico de los E.U., F.N. Scatena del IIDT, y R.J. Segal de Tuscon, Arizona.

Desde el paso del huracán en los días del 21-22 de septiembre de 1998 hasta mediados de diciembre, medimos el volumen del suelo alterado por 238 árboles recién desarraigados en diversos lugares de Puerto Rico. Algunos de estos se midieron en rodales a orillas de caminos, la mayoría estaban localizados en uno de 45 cuadrantes (cada uno de 500 m^2) en bosques urbanos y rurales, incluyendo Bisley y varios bosques estatales del interior de la Isla. Los lugares de estudio estaban generalmente localizados dentro de un radio de 1 km de aeropuertos, bases militares y otros sitios donde se midió la velocidad de los vientos durante la tormenta. Otros lugares de estudios se establecieron a lo largo de la ruta que trazó el ojo de la tormenta a través de la Isla.

Al igual que los estudios sobre daños llevados a cabo luego del huracán Hugo (Francis y Gillespie 1993) encontramos que las frecuencias de desarraigo varió considerablemente una vez se alcanzara un umbral. Todas las parcelas de estudio tuvieron vientos sostenidos entre 125 km/hr hasta 184 km/hr (Bennett y Mojica 1999) y excedieron el umbral de daños de 121 km/hr reportados por Francis y Gillespie en 1993. La proporción de desarraigo varió desde 50 porciento en un valle de tierras bajas en Cayey (cuatro de ocho árboles grandes en un rodal de teca) hasta 0 porciento en Adjuntas y Patillas, así como en Ponce. La proporción de árboles partidos varió desde 1.6 porciento en un cuadrante de Adjuntas donde el 15.6 porciento de árboles fueron desarraigados hasta un 75 porciento en un valle de tierras bajas en Caguas donde el 3.6 porciento de los árboles fueron desarraigados. El porciento más grande de árboles partidos ocurrió en el rodal del valle en Caguas donde el 75 porciento y el 67.6 porciento hasta el 75 porciento del árbol se partió mientras que solo el 2.9 hasta el 3.6 porciento y 2.9 porciento fue desarraigado. En total, un promedio de 10.4 porciento de árboles fue desarraigado en los 18 cuadrantes evaluados en el interior de la Isla, comparado con un promedio de 24.8 porciento de árboles partidos. Para todos los 45 cuadrantes alrededor de la Isla, la proporción promedio de desarraigos fue 7.0 porciento mientras que la proporción promedio de árboles partidos fue 20.5 porciento. Los efectos de la velocidad de los vientos sobre daños en árboles probablemente fue opacado por ráfagas y microexplosiones creadas por áreas de turbulencias aisladas y la influencia de la topografía local. También se notó diferencias en especies.

La cantidad de suelos alterados en los lugares estudiados se correlaciona bien con la proporción de área basal desarraigada, tal y como lo había sugerido Everham (1994) y reportado para varios bosques, incluyendo el Bosque Experimental de Luquillo. Siguiendo esta línea de pensamiento, comparamos el área basal dañado con el volumen de suelo alterado usando los 45 cuadrantes de Puerto Rico. La regresión lineal entre el volumen de suelo alterado y el porcentaje de área basal desarraigada explicó el 74 por ciento de la variabilidad ($r^2=0.743$). El análisis de la correlación también sugiere que pocos desarraigos en un rodal menos denso puede alterar tanto suelo como un mayor número de desarraigos en un rodal más denso. Más aún, las raíces de los árboles se expandirán hacia el área disponible en rodales menos competitivos de un sistema de bosque cerrado. Aunque no es de sorprenderse, esta sugerencia es una influencia interesante acerca de un componente importante de sistemas ecológicos que es difícil de estudiar debido a su naturaleza oculta.

Además de indicar la variabilidad de los patrones de desarraigo, la información obtenida en este esfuerzo contribuyó a formar una base de datos extensa sobre los desarraigos individuales. Para cada árbol desarraigado, se hicieron las siguientes medidas: diámetro, altura, pendientes del árbol y de la tierra, aspecto y dirección de la caída del árbol, clase de descomposición (1-5), tipo de árbol (conífera, caducifolio, palma o helecho; la especie, si era conocida), tamaño del grano dominante del suelo (arcilla, greda, arena o combinaciones de las mismas) topografía (cresta, pendiente, valle), área basal del bosque circundante (usando el "relascope" todo el tiempo y medidas del dap algunas veces) volumen de la "bola de la raíz" (suelo alterado más las raíces y fragmentos, si alguno) porcentaje de raíces y fragmentos en la bola de las raíces y el volumen del hueco dejado en la tierra.

Un análisis preliminar usando los Coeficientes de Correlación Pearson indica que alrededor de 64 por ciento de la variabilidad de la bola de raíces puede ser explicado por el volumen de árboles asociados ($r^2=0.644$). El volumen del árbol, sin embargo, explica solo alrededor del 13 por ciento de la variabilidad del tamaño del hueco ($r^2=0.126$). Los volúmenes de los huecos generalmente eran más pequeños que los volúmenes de las bolas de raíces, indicando una posible expansión de suelo que resulta de la remoción del peso de los árboles. Por otro lado, muchos huecos eran indistinguibles de la pendiente circundante, particularmente cuando los árboles caían pendiende arriba o perpendiculares a la pendiente. La pendiente de la tierra explicaba alrededor del 11.5 por ciento de la variabilidad del volumen de bolas de raíces cuando se les consideraban como un todo, y 25 por ciento cuando a árboles individuales se les asignaba una porción de una bola de raíz compartida. Cuando los árboles caían en grupos de dos o más y se excluían a coníferas, palmas y helechos del análisis dejando solo a árboles caducifolios que caían individualmente, el volumen del árbol explicaba el 72 por ciento de la variación en el volumen de las bolas de raíces.

En adición comparamos información para volumen de bolas de raíces para 20 desarraigos medidos luego del paso del huracán Hugo en 1989 en 20 árboles de la misma área medida en el otoño de 1989, aproximadamente nueve años luego de este evento. Aunque los primeros árboles no estaban enumerados, muchos de los árboles que se volvieron a medir fueron medidos en el inventario original. Estas medidas sugieren que el volumen de bolas de raíces ha disminuido alrededor del 68 por ciento (70.9 m^3 de 104.7 m^3) en los 110 meses entre medidas. Algo del suelo que falta de seguro ha permanecido en el lugar, ya que se han formado montones topográficos debajo del área de raíces expuestas de varios de los árboles medidos en 1998. En

algunos casos, parte del suelo posiblemente se ha acomodado dentro del hueco dependiendo de la pendiente de la topografía circundante y el ángulo y dirección de la caída de los árboles. No tenemos manera de determinar cuanto suelo pudo haber caído en los huecos porque no se tomaron medidas iniciales de los mismos; sin embargo, como se mencionó anteriormente, los huecos formados en pendientes altas frecuentemente se “mezclan” en las laderas sin formar depresiones reconocibles. Se han tomado medidas detalladas de 10 árboles recién desarraigados en el área de Sabana y serán comparados con otro conjunto de medidas detalladas tomadas en los mismos árboles, un año después del huracán. A los huecos de estos árboles se les forró de plástico con la esperanza de capturar algo del suelo que ayude a estimar la cantidad de suelo que cae de la bola de raíces al hueco en un año.

Una técnica similar que envuelva una comparación detallada de desarraigos recientes está siendo llevada a cabo en un bosque templado de coníferas en Westcliffe, Colorado (E.U.). Además, se usará el análisis de orillas de árboles para determinar la edad de algunos de los árboles caídos en Westcliffe, esto debe dar una visión de la tasa de descomposición de las bolas de raíces y cómo se relacionan con la

tasa de descomposición de los árboles. También hemos colectado datos de 10 cuadrantes en un lugar que sufrió disturbios en el Bosque Routt, cerca de Steamboat Springs, Colorado. Las medidas se tomaron en septiembre de 1998, ocho meses luego de un evento inusual de vendaval.

Continúa el análisis e investigación tocante a los lugares de estudio en Colorado y cómo comparan los procesos de desarraigo en ellos en contraste con los lugares y procesos que ocurren en Puerto Rico.

Literatura Citada

- Bennett, S.P.; Mojica, R. 1998. Hurricane Georges preliminary storm report. San Juan, Puerto Rico: National Weather Service, Weather Forecast Office.
- Everham, E.M. III. 1994. A comparison of methods for quantifying catastrophic wind damage to forests. En: Coutts, M.P.; Grace, J., eds. *Wind and Trees*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Francis, J.K.; Gillespie, J.R. 1993. Relating gust speed to tree damage in Hurricane Hugo. 1989. *Journal of Arboriculture*. 19(6): 368-373.

INVESTIGACIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Fred N. Scatena

Hidrólogo

El año fiscal 1999 estuvo caracterizado por un gran esfuerzo de campo diseñado para monitorear la respuesta y recuperación de las cuencas de Bisley y Mameyes luego del paso del huracán Georges en 1998. El año de 1999 también marco el 10mo aniversario del paso del huracán Hugo e incluyo una re-medición extensa de los cuadrantes de vegetación de Bisley. Además, se organizo la propuesta para el tercer ciclo de financiamiento del proyecto de Investigación Ecologica a Largo Plazo (LTER, por sus siglas en inglés, Long-Term Ecological Research), se continuo la investigación cooperativa con muchas universidades, y se inicio un proyecto de remoción del Coqui por Karen Beard de la Universidad de Yale. Nos place reportar también que la monografía tan importante sobre la disponibilidad del oxígeno en el suelo y la biogeoquímica de Bisley y el Bosque Experimental de Luquillo (BEL) fue publicada (Silver y otros 1999) así como un estudio sobre el efecto de uso de tierra en la erosión del suelo en la cuenca del Guadiana en el área norte central de Puerto Rico (Mar López y otros 1998).

El año también marco la publicación de varios artículos sobre la ecología acuática de Luquillo (Benstead y otros 1999) y arroyos caribeños (Pringle y Scatena 1999a, 1999b). El segundo año de un muestreo detallado de calidad de agua en la parte baja del Río Mameyes fue completado y se ha comenzado el análisis de datos. Este proyecto de investigación cooperativo se lleva a cabo con la colaboración de la Universidad de New Hampshire y enfatiza la determinación de los impactos y estrategias de mitigación asociados a las extracciones de agua. Como parte de este esfuerzo, se ha compilado una lista de referencias selectas, sobre

arroyos tropicales y la metodología de flujo de la corriente. Se completo una tesis de maestría sobre la predicción de descarga máxima, análisis de recesión y respuesta de flujo de corriente a la precipitación por Héctor David Rivera Ramírez de la Universidad de Connecticut. Por otro lado, Claire P. McSwiney de la Universidad de New Hampshire completo una tesis doctoral sobre los controles de la variabilidad espacial y temporal en flujos de oxido nitroso a través de una catena ribereña en la cuenca del Icacos. (Ver lista, versión inglés).

Literatura Citada

- Benstead, P.J.; March, J.G.; Pringle, C.M.; Scatena, F.N. 1999. Effects of a low-head dam and water abstraction on migratory tropical stream biota. *Ecological Applications*. 9(2):656-668.
- Mar López, T.; Aide, T.M.; Scatena, F.N. 1998. The effect of land use on soil erosion in the Guadiana watershed in Puerto Rico. *Caribbean Journal of Science*. 34: 3-4; 298-307.
- McSwiney, C.P. 1999a. Controls on spatial and temporal variability in nitrous oxide fluxes across a tropical rainforest ecosystem in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. Durham, NH: University of New Hampshire. Ph.D. dissertation.
- Pringle, C.M.; Scatena, F.N. 1999a. Aquatic ecosystem deterioration in Latin America and the Caribbean. En: Hatch, L.U.; Swisher, M.E., eds. *Managed ecosystems; the Mesoamerican experience*. Oxford, UK: Oxford University Press: 104-113. chap. 12.

Pringle, C.M.; Scatena, F.N. 1999b. Freshwater resource development: case studies from Puerto Rico and Costa Rica. En: Hatch, L.U.; Swisher, M.E., eds. *Managed ecosystems. The Mesoamerican experience*. Oxford, UK: Oxford University Press: 114-121. chap. 13.

Rivera-Ramírez, H.D. 1999. Peak discharge prediction, recession analysis, and evalua-

tion of streamflow response to rainfall for watersheds in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. Storrs, CT: University of Connecticut. M.S. thesis.

Silver, W.; Lugo, A.E.; Keller, M. 1999. Soil oxygen availability and biogeochemistry along rainfall and topographic gradients in upland wet tropical forest soils. *Biogeochemistry*. 44:301-328.

COMPARACIÓN DE DAÑOS DE TORMENTA CAUSADO POR EL HURACÁN GEORGES A 24 ESPECIES DE ÁRBOLES

John K. Francis
Investigador Forestal

Todos los residentes de Puerto Rico el día de 21 de septiembre de 1998 fueron afectados de alguna manera por el huracán Georges. Una de las experiencias más traumáticas fue el ser testigo de la devastación de cientos de miles de árboles urbanos. No solo tomará unos años para que árboles nuevos crezcan y los sobrevivientes puedan sanar, sino que el gobierno ha tenido que usar grandes sumas de dinero para remoción y limpieza. Muchos se han preguntado, ¿no sería mejor sembrar especies que sean resistentes a daños que reemplazar las especies condenadas a ser dañadas en extremo por el próximo huracán? Pero, ¿cuáles son los árboles resistentes?

Muchas de las observaciones del pasado han sido semi-cuantitativas o confinadas a árboles forestales (Bates 1929, Lugo y otros 1983, Wadsworth y Englerth 1959, Walker 1991). Se sabe bien que los árboles más altos son susceptibles a fuerzas mayores de los vientos que los árboles más bajos. Esto sugiere reducir la altura por medio de la poda o sembrar solamente árboles de alturas bajas. La restricción de la profundidad del sistema de raíces por el proceso de compactación debido a la anegación por agua, así como restricciones impuestas a las raíces, en términos de su crecimiento lateral, por estructuras adyacentes, son causas conocidas de que los árboles se vayan de lado o se vengán abajo por completo. Muchas de estas pérdidas pueden ser evitadas por el análisis de sitio y la planificación cuidadosa antes del sembrado actual.

La pregunta permanece, dado ambientes iguales, ¿cuáles especies padecen mayor daño y porque? En contestación parcial a la primera

parte de la pregunta, ofrezco la comparación dada en la tabla 1 para 24 especies creciendo cercanas unas de las otras y supuestamente expuestas a los mismos estresores. El lector notará que el daño no es el cuadro completo. Por ejemplo, la especie *Spathodea campanulata* sufrió daños más grandes que las demás especies, pero aparentemente ha resultado en mortalidad mínima y la especie ha podido reconstruir las copas dañadas rápidamente.

La pregunta de porque algunas especies sostienen más daños que otras es complicada. Obviamente mayor fortaleza de madera en raíces, troncos y ramas le imparten resistencia de ladearse el árbol (por desgarramiento de raíces), y también de que se parta el tronco o haya rotura de ramas. Sin embargo, se ha observado mucho daño en algunas especies como *Casuarina equisetifolia* y *Clusia rosea* que poseen maderas duras. El follaje del árbol es parecido a la vela de un barco. En las grandes tormentas los marineros cortan la vela para salvar el mástil y el barco. De igual manera, un árbol que se deshoja fácilmente puede evitar gran parte de la fuerza del viento. Otro factor lo es la flexibilidad. Los troncos y ramas que se flexionan ante el viento causan una gran reducción en el área seccional expuestas a los vientos reduciendo así la fuerza de los mismos. Como tal, la importancia relativa de estos procesos es desconocido. A este fin, estoy colectando medidas de densidad de maderas (un indicador de la fortaleza de la madera), fuerza de retención de hojas, y resistencia de ramas a la flexión de las mismas 24 especies estudiadas luego del huracán. Luego correlacionaré estas medidas con los datos de daños. (Ver tabla, versión inglés).

Literatura Citada

- Bates, C.Z. 1929. Efectos de huracán del 13 de septiembre de 1928 en distintos árboles. *Revista de Agricultura de Puerto Rico*. 23: 113-117.
- Lugo, A.E.; Applefield, M.; Pool, D.J.; McDonald, R.B. 1983. The impact of Hurricane David on the forests of Dominica. *Canadian Journal of Forestry Research*. 13(2): 201-211.
- Wadsworth, F.H.; Englerth, G.H. 1959. Effects of the 1956 hurricane on forests in Puerto Rico. *Caribbean Forester*. 20(3/4): 38-51.
- Walker, L.R. 1991. Tree damage and recovery from Hurricane Hugo in Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. *Biotropica*. 23(4a): 379-385.

INVESTIGACIÓN DE AVES A LARGO PLAZO

Wayne J. Arendt

Biólogo de Investigación de Vida Silvestre

Estudios de aves en relación a disturbios en el Bosque Experimental de Luquillo (BEL)

El año mil novecientos noventa y nueve marca el año número 21 de investigación sobre el Zorzal Pardo y el décimo año de monitorear poblaciones de aves forestales en relación a disturbios mayores del hábitat en el BEL. Durante las pasadas dos décadas, además de la información usual biológica y ecológica obtenida para el zorzal y otras especies de aves, se ha presentado una oportunidad dorada para estudiar los efectos de estresores de hábitat mayores sobre las poblaciones de aves forestales. Con el paso del huracán Hugo el 18 de septiembre de 1989 y luego del huracán Georges el 21 de septiembre de 1998, casi una década después (con varios huracanes menos destructivos en el interim), se ha podido discernir con mayor claridad las interrelaciones físicas y ecológicas entre las aves y su hábitat forestal. A pesar de que las tendencias en los patrones de recuperación para el zorzal y otras poblaciones de aves forestales fueron similares luego de Hugo y de Georges, el tiempo y la extensión de la recuperación, así como el subsiguiente éxito en la reproducción, sugiere que el bosque sigue afectado por los efectos acumulativos de varios eventos ciclónicos recientes y más intensos. Por ejemplo, luego del huracán Hugo, el primer zorzal hembra en la población muestreada en mi estudio puso su primer huevo el día 13 de abril de 1990 (207 días después del disturbio). De igual manera, luego del huracán Georges, el primer huevo de zorzal en la población muestreada se puso el día 14 de abril de 1999 (205 días luego del disturbio). Hubo una diferencia de tan solo dos días de diferencia entre el inicio de la reproducción para ambos años luego de un disturbio mayor en el hábitat. Sin

embargo y de manera contrastante, el 100 por ciento de los zorzales hembras que anidaban en cajas de anidaje lograron anidar luego del huracán Hugo, en tanto que menos de una tercera parte de la población muestreada anidó luego del huracán Georges. Más aún, a pesar de que el éxito reproductivo fue similar a (y hasta un poco mas alto que) un promedio de 10 años pre-disturbio seguidos del huracán Hugo, el éxito reproductivo fue significativamente más bajo en las primeras parejas que se reprodujeron durante el primer período de reproducción (1999) luego del huracán Georges. Finalmente, hubo un hiato de tan solo 44 días (c. 1.5 meses), 6 de agosto al 19 de septiembre de 1990, entre el primer y segundo período reproductivo después del huracán Hugo, mientras que el lapso entre el primer y segundo período reproductivo después del huracán Georges fue de 146 días (casi 5 meses). Además, tal y como en el primer período reproductivo (1990) luego del huracán Hugo, el 100 por ciento de las parejas que usaban cajas de anidaje se aparearon durante el segundo período (1991) y períodos consecutivos. Sin embargo, a pesar de que aún es temprano para saberlo, hasta el día 12 de enero de 2000, no se han activado otros nidos desde que la pareja única comenzó a anidar el día 8 de diciembre de 1999. Tal parece que la mayoría de las parejas que anidan no comenzarán el período reproductivo hasta tarde en enero o a principio de febrero. Aún se desconoce cuántas parejas intentarán reproducirse durante este segundo período reproductivo (2000) post-huracán Georges.

Para asegurar que la población de zorzales muestreada (cajas de anidaje) estaba respondiendo de manera similar a los zorzales anidando en las cavidades arbóreas y nidos

abiertos dentro del bosque, se llevaron a cabo contajes de puntos mensuales y se hicieron observaciones directas. Los resultados de contaje de puntos que tenían que ver con los zorzales que cantaban (se iguala a parejas que están anidando) coincide con el anidaje observado en las cajas para zorzales. Es decir, pocos zorzales cantaron, y lo hicieron durante el mismo período de tiempo en que las parejas de cajas de anidaje se reprodujeron. A pesar de que ocasionalmente los zorzales machos que cantan están anunciándose para conseguir pareja, más frecuentemente un macho que canta denota un individuo apareado y reproductivo.

Estudios a largo plazo en el Bosque Seco de Guánica

Se llevó a cabo en enero de 1999 el proceso anual de red (mist netting) y anillado de las aves del Bosque de Guánica, marcando el año número 27 de este estudio a largo plazo. El análisis continuo de la precipitación anual y tasas de sobrevivientes en aves residentes y migratorias ha revelado que la escasez o abundancia de las lluvias de primavera afectan significativamente la sobrevivencia de aves jóvenes residentes, especialmente frugívoras y nectarívoras. Conversamente, los niveles de la precipitación de otoño afecta la sobrevivencia total de los residentes y la abundancia tanto de aves residentes como migratorias.

Programa de Restauración de la Cotorra Puertorriqueña

Un resumen relativo a 17 años de investigación sobre una población de bosque pluvial del Zorzal Pardo (*Margarops fuscatus*), primeramente señalado en la Carta Anual del IIDT en 1996, que incluye observaciones sobre el anidaje de las Cotorras Puertorriqueñas (*Amazona vittata*), será publicado por entero (Arendt en imprenta). Esta investigación ha demostrado que el éxito reproductivo de los

zorzales, cotorras, e indudablemente otras aves forestales que anidan en cavidades arbóreas, es reducido grandemente como resultado de los efectos aditivos de un grupo diverso de depredadores, competidores y ectoparásitos, principalmente otros zorzales, la lechuza (*Otus nudipes*), la rata negra (*Rattus rattus*), la abeja melífera (*Apis mellifera ligustica* y *A. m. scutellata*), y un tipo de mosca (*Philornis* sp.). A pesar de que las pérdidas de huevos y polluelos por depredación de nidos y competidores fue responsable de menos del 10 por ciento, el ectoparasitismo por la mosca *Philornis* fue responsable del 56 por ciento de las restantes pérdidas de polluelos. Esta investigación no tan solo resume la prevalencia e intensidad de la depredación de nidos y el ectoparasitismo sino que, lo que es más importante aún, enfatiza la interacción entre estas dos formas de control biológico. Tal conocimiento es fundamental en el manejo de especies en peligro de extinción y sus estresores biológicos.

Evaluación de aves residentes y migratorias del Neotrópico en ecosistemas forestales estuarinos y costeros en la Instalación Naval de Sabana Seca, con el potencial para monitoreo a largo plazo especies endémicas de Puerto Rico, de las cuales más de la mitad (8 de 14 especies) (o 9 de 16, dejándose llevar por revisiones taxonómicas recientes) no tan solo habitan en los promontorios kársicos de la Instalación, sino que son abundantes. Más aún, los censos mensuales de contaje de puntos mostrarán que una especie reliquia semi-endémica, “Adelaides Warbler”, aunque no endémica a la isla de Puerto Rico, pero de una distribución muy limitada y disyuntiva (Puerto Rico, St. Lucia, y Barbuda), está muy dispersada y es abundante en las isletas de karso remanentes de la Instalación. Los montes de karso también constituyen un hábitat importante para uno de los reptiles endémicos y vulnerables, el *Anolis cuvieri*. Su estado dentro de los confines y alrededores de la Instalación debería ser estudiado.

Además de la importancia de preservar la vida silvestre nativa y migratoria, se encontró que las isletas de karso del NSGASS son el albergue de al menos tres especies de árboles endémicos. A la luz de la destrucción rampante debido al desarrollo costero llevándose a cabo en Puerto Rico y en la región, los montes de karso remanentes que permanecen dentro de los lindes protectores de la base naval pueden pronto convertirse en los últimos baluartes para la flora endémica de la isla que desaparece rápidamente.

Se mostró que las poblaciones de muchas especies de aves residentes y migratorias están disminuyendo. Los factores causativos son muchos y complejos, pero incluyen los efectos de eventos ciclónicos recientes, numerosos e intensos; la fragmentación forestal, y el incremento consecuente del parasitismo de la nidada de aves por el ave *Molothrus bonariensis*. Aunque muy poco se puede hacer para contrarrestar los efectos de los disturbios mayores sobre el habitat, e.g., huracanes, se pueden tomar acciones gerenciales para disminuir la fragmentación histórica y la degradación de los bosques costeros de la Instalación. Se puede asegurar la protección de los suplidores de agua dulce, nutrientes y sedimentos a los dos bosques de tierras anegadizas a través de la alteración mínima de los arroyuelos, acuíferos y otros cuerpos de agua que pasan por las propiedades del NSGASS. Los esfuerzos de restauración, similar al proyecto de bosque de *Pterocarpus* llevado a cabo actualmente por la Universidad de Puerto Rico, que adjudica tanto espacio como sea posible para la expansión de los bosques de terrenos anegadizos, servirá para detener un tanto las repercusiones actualmente observadas en fragmentación de habitat, y, posiblemente,

hechar hacia atrás las disminuciones recientes en las poblaciones de aves.

Se ha garantizado la continuación del monitoreo de aves, al menos por unos cuantos años más, a través de la participación de Manuel Figueroa de Geo-Marine, Inc. (GMI), una organización de servicios ambientales e ingeniería en Texas, que ha sido contratada por la Marina para llevar a cabo un plan integral de gerencia de los recursos naturales para el NSGASS. Si los resultados futuros del monitoreo lo estiman necesario, de manera inminente, se deben implementar una serie de pasos gerenciales para aplacar y revertir las disminuciones de poblaciones de aves observadas, e.g., reduciendo el número de *Molothrus bonariensis* dentro y en los alrededores de estos ecosistemas forestales cruciales.

Literatura Citada

Arendt, W.J. (unpublished report). Assessment of Puerto Rico's Neotropical Migratory Birds in Estuarine and Coastal Forest Ecosystems on the Sabana Seca Naval Installation (NSGASS), with the Potential for Long-term Monitoring. Final Report submitted on September 21, 1999 to U.S. Naval Security Group Activity at Sabana Seca, Puerto Rico.

Arendt, W.J. 2000. Impact of nest predators, competitors, and ectoparasites on Pearly-eyed Thrashers, with comments on the potential implications for Puerto Rican Parrot recovery. *Ornitología Neotropical* 11: 1-51 (January 2000).

LOS RECURSOS GENÉTICOS EN LA CAOBA Y EL CEDRO HEMBRA

Sheila Ward

Ecóloga

El énfasis de mi investigación durante el pasado año fue en la caoba. En mi calidad de Coordinadora de los Estados Unidos y Científica Cooperadora para las subvenciones FAS juntamente con CATIE e ICRAF, he estado trabajando con investigadores en México y Costa Rica en la conservación genética y mejoramiento de la caoba y el cedro hembra en el Yucatán y en Centroamérica. Estas especies están bajo uso extenso en el neotrópico. Esperamos garantizar la diversidad genética para el futuro, y proveer material mejorado para la reforestación comunitaria y proyectos agroforestales. Se han completado las colecciones de semillas, y todos los ensayos han sido sembrados para ambas especies en diferentes localidades. También estoy trabajando con CATIE en un proyecto financiado por FAS para extender las colecciones de semilla de caoba a America del Sur. El Instituto Internacional de Dasonomía Tropical está desarrollando una red de cuadrantes de estudio a largo plazo para monitorear el crecimiento de la caoba a través de su distribución. El IIDT también está desarrollando mecanismos, incluyendo una página "web", para el intercambio de investigaciones en caoba y otra información relacionada a la caoba. La información para estos diferentes proyectos se logró a través de visitas a Bolivia, México, Costa Rica y Belice.

Un estudio de procedencia de caoba que fue establecido por el IIDT en la década de los 60's continua proveyendo información crítica sobre los recursos genéticos de la caoba, y otros asuntos. Entre el 1964 y 1965, ensayos de 20 procedencias de las 3 especies de caoba se establecieron en 14 lugares diferentes desde

bosque seco hasta bosque subtropical húmedo en Puerto Rico y las Islas Vírgenes de los E.U. Hemos relocalizado todos estos lugares y hemos reidentificado los árboles por su procedencia y familia de origen. Hemos completado una colección de material para comparaciones genéticas mediante la electroforesis y el análisis de AND. La diversidad genética relativa será comparada, y se evaluarán las relaciones entre las fuentes poblaciones. Esta información, juntamente con otras bases de datos genéticas para las caobas, serán usadas en estrategias de conservación genética en estas especies. Estamos al terminar un estudio de densidad de madera en el remanente de los árboles, para comparar los componentes genéticos y ambientales de la densidad de madera. Esto debe ayudar a enfocar los intentos de mejorar o asegurar la calidad de madera en la caoba.

Otro proyecto es la relación de las dinámicas forestales con la historia de uso de tierras en el Bosque Nacional del Caribe. El IIDT estableció, a finales de la década de los 50's, una serie de cuadrantes de estudio pequeños a largo plazo en cuatro localidades distintas entre sí para monitorear la sucesión forestal bajo diferentes condiciones iniciales y diferentes tipos de gerencia forestal. Estamos haciendo uso del GPS para localizar los cuadrantes en relación a mapas de uso de tierras, y estamos preparando medidas de los cuadrantes para hacer los análisis.

Como resultado de mis esfuerzos durante los pasados tres veranos en emplear estudiantes con incapacidades físicas, este otoño recibí un reconocimiento de la Asociación de Personas con Incapacidades en la Agricultura.

LA ECOLOGÍA Y CRECIMIENTO DE LA CAOBA HONDUREÑA (*Swietenia macrophylla* King) A LO LARGO DE GRADIENTES CLIMÁTICOS Y EDÁFICOS A TRAVÉS DE SU ALCANCE NATIVO

Julio C. Figueroa Colón
Ecólogo

La caoba hondureña (*Swietenia macrophylla*) es una de las especies comerciales más importantes y estudiadas entre las especies del Neotrópico. Los asuntos de ambigüedad taxonómica, variabilidad ecológica, e importancia económica, se combinan para hacer de esta especie el blanco de grupos de interés que recorren por entero el espectro científico, económico y conservacionista. Los asuntos concernientes al estado de la especie en su ambiente natural, los niveles de extracción y trata comercial, su receptibilidad a prácticas de manejo sustentable, y su conservación presente y futura, todos han estado bajo escrutinio minucioso y debate.

Mucho de este escrutinio e interés ha resultado de esfuerzos recientes (y aún) sin éxito para enlistar la especie al Apéndice II de la Convención para el tratado internacional de especies en peligro (CITES, por sus siglas en inglés, Convention on International Trade in Endangered Species). Esta atención también ha resultado en el comienzo de numerosos proyectos nuevos sobre la especie. El Instituto Internacional de Dasonomía Tropical (IIDT) ha estado directamente envuelto con el apoyo de nueva investigación en los aspectos de la ecología, genética y regeneración de la especie. Este estudio en particular busca estudiar los efectos de los gradientes ambientales en la estructura y dinámicas de poblaciones naturales a través del alcance de la especie. El objetivo es seleccionar lugares de estudio que permitan el muestreo de poblaciones naturales de caoba que caracterizan combinaciones seleccionadas de tipos de clima y suelo que representen los extremos dentro del alcance natural de la

especie. El diseño experimental está basado en el establecimiento de bloques de 25 hectáreas en cada lugar estudiado. Los bloques se subdividen en 25 cuadrantes individuales de 1 hectárea donde a todas las caobas se les mide el d.a.p., altura total, y la clase de corona en el dosel (canopy crown class). También se documenta la posición geográfica precisa de cada caoba registrada. La estructura del rodal, la regeneración, y el crecimiento de los cuadrantes se evaluarán a través del tiempo. Los datos compilados de este estudio proveerán, tanto para los investigadores como para los gerentes, por primera vez, una evaluación completa de la estructura poblacional y crecimiento de la especie a través del gradiente amplio (clima y suelos) en que ocurre. Esta red de cuadrantes con referencia global producirá un compromiso multi-nacional de cooperación para el estudio a largo plazo de la especie. La red también proveerá un marco de referencia único para la investigación adicional sobre la ecología, la genética y el manejo de estos ecosistemas.

Un bloque experimental fue establecido en agosto de 1999 dentro de la Estación Experimental San Felipe de Bacalar, Bacalar, Quintana Roo, México. Este lugar de estudio está localizado aproximadamente en la Lat. 18.5° y Long. 88°. La temperatura promedio anual en el lugar es de 25.9° C. La precipitación anual promedio es de 1300 mm con una temporada seca marcada de octubre a febrero. El material geológico base en el lugar es calcáreo y el relieve topográfico es plano (10 a 30 m).

El área de estudio se dividió en un bloque de 500 x 500 m y se colocaron marcadores

permanentes de PVC a intervalos de 100 m subdividiendo así el área en 25 cuadrantes de 1 hectárea cada uno. Los cuatro marcadores de las esquinas se posicionaron globalmente (GPS) y se registraron. A todas las caobas dentro del estudio del bloque de 25 hectáreas, con d.a.p. ≥ 10.0 cm, se les midió d.a.p., altura total, y posición de la corona en el dosel. Los puntos de medido del d.a.p. se marcaron con pintura, y se les fijó un rótulo con números únicos a cada árbol asegurando la identificación apropiada para su remediación futura. La regeneración de caoba (todos los tallos con d.a.p. ≥ 1.0 cm y menor de 10.0 cm) fueron muestreados a dos niveles dentro del bloque. La regeneración dentro de los árboles jóvenes (todos los tallos con d.a.p. ≥ 5.0 cm y menor que 10.0 cm) fueron muestreados en cinco cuadrantes de 1 hectárea, seleccionados al azar. La regeneración en las plántulas (todos los tallos con d.a.p. ≥ 1 cm y menor que 5.0 cm) se muestreó en 25 subcuadrantes de 400 m² (de 20 x 20 m, localizados al azar dentro de cada cuadrante de 1 hectárea seleccionado, cinco en cada cuadrante). Todas las caobas tabuladas en la

muestra de regeneración fueron medidas también para d.a.p. y altura total. Se registró la posición geográfica precisa de todos los tallos de caoba tabulados dentro de todo el bloque de estudio de 25 hectáreas, y se preparó un mapa con sus posiciones, relacionando los unos a los otros dentro del bloque. Un total de 377 caobas, con d.a.p. ≥ 10.0 cm, fueron tabuladas en el bloque de 25 ha para un promedio de 15.1 árboles/hectáreas. La densidad de individuos fue similar a aquellas reportadas para la caoba en bosque natural en otros lugares. Los árboles grandes de tamaño comercial (d.a.p. > 80.0 cm) promediaron 1/hectárea, que también concuerda con el promedio reportado a través de todo el alcance distribucional de la especie. La regeneración promedio 19 plántulas/hectáreas y 11 árboles jóvenes/hectáreas. El área basal por hectárea promedio 1.93 m², 0.2418 m², y 0.0457 m² para árboles, árboles jóvenes, y plántulas, respectivamente.

Se han programado dos sitios de estudio adicionales para este año fiscal.

LOGROS EN BOSQUES ESTATALES Y PRIVADOS

Robin Morgan
Silviculturista

BOSQUES ESTATALES Y PRIVADOS EN LAS ISLAS VÍRGENES DE LOS ESTADOS UNIDOS

Los programas cooperativos administrados e implementados a través de una asociación entre el Gobierno de las Islas Vírgenes (E.E.U.U.), el Servicio Forestal de los Estados Unidos y muchas otras entidades privadas y del gobierno. Estos programas promueven la salud y productividad de las tierras forestales de las Islas Vírgenes Americanas y sus economías rurales. Se enfatiza la producción de madera y otros productos forestales, vida silvestre, los recursos de agua, economías rurales y las prácticas de conservación. La meta es de mantener y mejorar la salud de los bosques urbanos y rurales de estas islas y las economías relacionadas. Estos programas:

- Reducen costos a través de asociaciones
- Incrementan el valor a través de la productividad sostenible de los bosques
- Facilitan el sinergismo entre los asociados tradicionales y los no-tradicionales y
- Son voluntarios y no-regulatorios en su entrega.

Los asuntos claves en que el Estado enfatizará en la implementación del presupuesto del 2001 incluyen:

- Urbanización y desparramiento dentro de las áreas naturales
- La restauración ecológica de áreas naturales y donde se han construido estructuras
- La protección y manejo de cuencas
- Programas de silvicultura urbana sostenible y

- La creación de empleos e ingreso utilizando oportunidades basadas en los recursos naturales.

Las Islas Vírgenes Americanas tienen 21,324 acres de tierras forestales privadas y 140 acres de bosque experimental. De los 1,000 individuos estimados dueños de tierras forestales, la mayoría tiene parcelas de tamaño menor de 20 acres. La mayoría reporta que la agricultura y la estética son razones primarias para ser propietarios de tierras forestales. Las 150,000 personas que viven en el Estado incluyen 44 comunidades con poblaciones de más de 100; 41 por ciento de estas han iniciado algún nivel del programa de silvicultura comunitaria.

PUNTOS SOBRESALIENTES DEL PROGRAMA

Silvicultura Urbana y Comunitaria

El programa de asistencia de silvicultura urbana y comunitaria está en una posición cómoda para conferir beneficios a la gente de las Islas Vírgenes. El programa inspira esperanza en la comunidad a través de actividades de subrecipientes de las subvenciones provistas y motiva a los ciudadanos. La tendencia tradicional de cortar parte de la copa superior de los árboles al acercarse un huracán es una costumbre muy arraigada. Este programa busca enfatizar estas preocupaciones al nivel local ofreciendo oportunidades de capacitación y asistencia técnica en cuanto a manejo de árboles apropiados.

Protección Cooperativa de Fuego

El Territorio completo puede ser clasificado como de Interfase Urbana/Vida Silvestre. En esta Isla hay muy pocos ríos, no hay lagos, y existe

un número limitado de bocas de incendio en este ambiente isleño. Los vientos alisios variables, la acumulación de combustible asociado a los bosques tropicales secos, los caminos estrechos y de pendientes elevadas, y la dificultad de construir entradas se combinan para crear un reto de fuego en áreas silvestres. El Servicio de Bomberos de las Islas Vírgenes está trabajando con el Departamento de Agricultura de las Islas Vírgenes y el Servicio de Extensión Cooperativo en la preparación de la Evaluación de Protección de Fuegos en Áreas Silvestres.

Administración Forestal

El aparear los profesionales de recursos naturales con los agricultores y otros terratenientes está expandiendo la visión para las oportunidades de administración forestal en las Islas Vírgenes Americanas. El reconocimiento de la importancia de la protección de hábitat para la vida silvestre, suelo para la calidad de agua, y la estética para el turismo y desarrollo económico cambia la manera en que las personas ven las oportunidades y su responsabilidad hacia una isla más sana.

Protección de Salud Forestal

La cochinilla rosada ha infestado toda la área de las tres Islas Vírgenes Americanas (St. Croix, St. Thomas, St. John). Además, hay daños reportados por escarabajos, afidos, moscas, gusanos, marchitamiento, barrenadores, huracanes, y tensiones causadas por la construcción. El Departamento de Agricultura está trabajando de cerca con la Universidad de las Islas Vírgenes para evaluar la salud forestal de todas las comunidades forestales de las islas.

Acción Económica

El Consejo de Conservación de los Recursos y Desarrollo de las Islas Vírgenes (V.I. Resource Conservation and Development Council) es un socio activo en la ejecución de este programa. A través del apoyo hacia los recursos existentes para ayudar el comercio nuevo o ya existente,

el Consejo se esfuerza en mejorar las oportunidades de empleo e ingreso que utilicen los recursos naturales de las islas.

Educación Conservación de los Recursos Naturales

El programa "Releaf" de las Islas Vírgenes enfatiza la necesidad del Territorio de nuevos sembrados de árboles, información sobre el cuidado de árboles y la educación. La falta de una política organizada de cuidado arbóreo y de planificación de tierras de parte del gobierno lleva a la remoción de los árboles sin que tengan reemplazo, así como la negligencia y el cuidado inapropiado de árboles en las tierras públicas. El programa "VI Releaf" provee árboles para las escuelas y beneficia a unos 2,000 estudiantes anualmente. El programa de Árboles para las Escuelas enseña a los estudiantes los beneficios de los árboles y el cuidado apropiado fomentando así mayor orgullo en sus escuelas y en sus islas.

PUERTO RICO RECURSOS FORESTALES ESTATALES Y PRIVADOS

Los programas cooperativos son administrados e implementados a través de una asociación entre el Gobierno de Puerto Rico, el Servicio Forestal de los Estados Unidos y muchas otras entidades privadas y gubernamentales. Estos programas promueven la salud y productividad de las tierras forestales y economías rurales de Puerto Rico. El área de enfoque es madera y otros productos forestales, vida silvestre, recursos de agua, economías rurales y prácticas de conservación. La meta es de mantener y mejorar la salud de los bosques urbanos y rurales de Puerto Rico junto a las economías relacionadas. Estos programas:

- Reducen costos a través de asociaciones
- Incrementan el valor a través de la productividad sostenible de los bosques, y

- Son voluntarios y no- regulatorios en su entrega.

Los asuntos claves que se enfatizarán en Puerto Rico en la implementación del presupuesto del 2001 incluyen:

- Urbanización rápida y desparramamiento dentro de las áreas naturales
- Calidad de agua, incluyendo la esorrentia de agua de tormenta, y restauración de áreas naturales
- Protección del suelo y manejo de cuencas hidrográficas
- Programas de silvicultura urbana sostenible al nivel local
- Creación de empleos e ingreso utilizando oportunidades basadas en los recursos naturales.

Puerto Rico tiene casi 700,000 acres de tierra forestal en manos privadas y 28,000 acres de Bosques Nacionales. De los 368,668 individuos que son dueños de tierras forestales, muchos tienen parcelas de tamaño menor de 20 acres. Casi todos estos dueños reportan que la conservación, el disfrute estético y la recreación son las razones principales para ser propietarios de la misma. Los 3.8 millones de personas del estado incluyen 78 municipios que incluyen muchas ciudades y comunidades con poblaciones de más de 100; todos han iniciado, en algun nivel, un programa de silvicultura comunitaria.

EVENTOS IMPORTANTES DENTRO DEL PROGRAMA

Silvicultura Urbana y Comunitaria

El proyecto sembrando por Puerto Rico es un programa de reforestación muy importante llevado a cabo por el gobierno central de Puerto Rico. Es un vehículo usado para promover la colaboración y acción comunitaria en el sembrado y cuidado de árboles en áreas urbanas,

y es un medio de entrega de asistencia técnica. Ha alcanzado con efectividad a cada municipio de la Isla y ha envuelto a más de 19,000 voluntarios.

Protección Cooperativa de Fuego

El Servicio de Bomberos de PR esta implementando una campaña agresiva para asegurar que todos los bomberos en áreas propensas a incendios en áreas silvestres tengan equipo de protección personal y otras herramientas así como equipo de seguridad para incendios en áreas silvestres y supresión de los mismos.

Administración Forestal

A través del proyecto Sembrando por Puerto Rico durante el pasado año, 11,188 dueños de tierras hispanos han estado envueltos activamente en actividades de reforestación y administración en tierras forestales privadas. El Departamento de Recursos Naturales ha legislado apoyo presupuestario para proveer \$500,000/año en incentivos para el sembrado y manejo de árboles con propósitos de conservación y producción maderera.

Protección de Salud Forestal

Se desarrolló y distribuyó "A Guide for the Identification of Damage Caused by Insects to Trees of Puerto Rico" [Una guía para la identificación de daños causados por insectos a los árboles de Puerto Rico] por la Universidad de Puerto Rico en colaboración con profesionales forestales locales. Se le dio asistencia técnica a agencias estatales y federales, a terratenientes urbanos y rurales, a agricultores y viveros a través de la Isla.

Acción Económica

Dada la presión desmedida de la población sobre los recursos naturales de la Isla, los empleos e ingresos que utilicen los recursos de manera sostenible más que de explotación total, es una prioridad alta. A través de los programas de

Asistencia a Comunidades Rurales se ha facilitado el establecimiento de una red muy fuerte de ecoturismo y la planificación comunitaria a nivel local.

Educación Conservación de los Recursos Naturales

El proyecto Sembrando por Puerto Rico tiene un componente educativo ambicioso que ofrece a los participantes material impreso escrito en español (folletos y un manual para niños de edad

escolar), materiales para la siembra, y la asistencia técnica y organizacional para los proyectos de sembrados en las escuelas. Además, hay dos escuelas secundarias que están implementando un esfuerzo de reforma educativa usando el bosque urbano del vecindario para estudiar los efectos que tienen los árboles sobre la temperatura, calidad de agua, la composición del suelo, y la interacción social. (Ver tablas, versión inglés).

COMPARACIÓN DE DAÑOS Y RECUPERACIÓN DEL DOSEL FORESTAL USANDO EXPLOTACIÓN MADERERA DE BAJO IMPACTO Y EXPLOTACIÓN SELECTIVA CONVENCIONAL EN EL ESTE DE PARÁ, BRASIL

Michael Keller
Científico Físico

INTRODUCCIÓN

La explotación selectiva de madera es un uso de tierra importante en áreas forestales a través del Trópico húmedo. Nepstad y otros (1999) estimó que aproximadamente 10,000 a 15,000 km² por año fueron afectados en el período de 1996 a 1997 en la región del Amazonas Legal de Brasil. La explotación selectiva trae consigo una variedad de efectos a corto y largo plazo incluyendo cambios en el régimen de luz y microclima del suelo, erosión, compactación del suelo, la interrupción del ciclo de nutrientes y posiblemente cambios a largo plazo en la composición de especies arbóreas (McNabb y otros 1997, Brouwer 1996). Estos cambios pueden afectar el reclutamiento de especies madereras y la diversidad de la fauna forestal (Pinard y otros 1996, Hill y otros 1995). A través de la modificación del microclima del sotobosque y el abastecimiento de combustible, la explotación selectiva aumenta la susceptibilidad del bosque a incendios (Uhl y Kauffman 1990, Nepstad y otros 1999, Cochrane y otros 1999).

Las prácticas de explotación de impacto reducido (RIL, por sus siglas en inglés, Reduced Impact Logging) limita significativamente el daño comparado con prácticas convencionales de explotación. Los conceptos básicos de explotación de impacto reducido han sido compilados en muchas publicaciones incluyendo un manual distribuido por la FAO (FAO 1996). Los componentes del RIL para los bosques de cuenca en el Amazonas han sido resumidos por Uhl y otros 1997 como: (1) hacer inventario y trazado de mapas para reducir los desperdicios

durante la explotación; (2) planificación de caminos y veredas de deslizamiento para minimizar disturbios de suelo; (3) corte de lianas un año antes de la cosecha para eliminar daños a árboles cercanos a los árboles de cosecha; (4) planificación de corte direccional y procesamiento de trozas para minimizar daños a los árboles cercanos y reducir el desperdicio en árboles de cosecha; y (5) extracción planificada para minimizar el tiempo del equipo durante el deslizamiento. Estas prácticas pueden estar complementadas por tratamientos silviculturales para mejorar los prospectos a largo plazo del rodal forestal.

Pocos estudios han cuantificado los efectos de la extracción selectiva sobre los doseles forestales. La información de los efectos de la extracción maderera sobre el dosel debe ser útil para comprender los efectos sobre la fauna forestal, cambios microclimáticos, y respuestas fisiológicas. La comprensión del daño y recuperación del dosel debe ser útil para la interpretación y detección de la explotación maderera usando el monitoreo telesensorial. Hemos investigado el daño y la recuperación luego de la explotación en lugares de explotación convencional y RIL en el Este Amazónico del Brasil.

DESCRIPCIÓN DEL SITIO

Hemos llevado a cabo nuestros estudios en la Fazenda Cauaxi en el Ulionopolis, municipalidad del Estado de Pará, Brasil. La Fundación del Bosque Tropical (TFF, por sus siglas en inglés, Tropical Forest Foundation) mantiene un campamento de explotación y

centro de capacitación para la demostración de gerencia forestal y técnicas RIL en este lugar (S 3^V43.878' W 48^V17.438'). Con la colaboración de los dueños de la propiedad, se han llevado a cabo desde el 1995, cursos de capacitación, demostración y actividades de investigación. Antes de la actual operación de explotación no había récord histórico de uso de terreno o recolección de productos forestales no-madereros, aunque sí hay indicios de actividad indígena. Los rancheros y explotadores primero entraron al área en el 1976 a través del Río Capim y el Río Surubiju. No había caminos en el área hasta la década de los 80's.

El clima en la Fazenda Cauaxi es húmedo tropical. La precipitación anual total promedia es unos 2200 mm. Una estación seca se extiende desde julio hasta noviembre (generalmente < 50 mm/mes) aunque junio y diciembre con frecuencia son lo suficientemente secos como para permitir operaciones madereras. Los suelos en el área están clasificados mayormente como latosoles distróficos amarillos de acuerdo con el sistema brasileño. La topografía es mayormente plana con suaves ondulaciones. El bosque en Fazenda Cauaxi está clasificado como bosque denso tropical húmedo. Las especies madereras más comunes cosechadas durante 5 años de labores de explotación son *Licania* sp., *Manilkara huberii*, *Astronium lecointei*, *Eschweilera odorata*, y *Parkia* ssp. El área basal del rodal es de aproximadamente 57 m² ha⁻¹ para árboles mayores de 10 cm de diámetro a la altura del pecho.

Estudié 4 bloques explotados y un área de bosque natural con disturbios mínimos (500 x 1000 m). Un bloque convencional y un bloque RIL fueron explotados cada uno en 1996 y 1998. Ambos bloques del 1996 eran de alrededor de 100 hectáreas (aproximadamente 1000 x 1000 m). El bloque RIL para 1998 cubría alrededor de 57 hectáreas y el bloque convencional para 1998 cubría solo 14 hectáreas.

Prácticas de explotación

Los bosques en la región de la Fazenda Cauaxi son de especies variadas, pero un número limitado de especies (aproximadamente 50 en 1995) eran tratadas en comercio regionalmente. Por tanto, los leñeros practicaban la selección de árboles individuales. En la práctica convencional los leñeros identificaban árboles para cosechar. Eran seguidos por los aserradores quienes derribaban y aserraban la leña. En muchos casos, eran los aserraderos los que seleccionaban los árboles para la cosecha. Los aserraderos a su vez eran seguidos por los operarios quienes preparaban los caminos, plataformas, deslizamientos de la madera aserrada, y cargaban la misma para luego ser transportada. En las operaciones convencionales en la Fazenda Cauaxi, se usó un tractor sin montacargas (Caterpillar D-6) para la construcción de caminos y plataformas así como para deslizamientos.

En contraste con la práctica convencional, la práctica RIL empleó una operación pre-cosecha para los bloques donde se hizo la disposición, se hizo inventario, se planificaron los caminos y se construyeron, y se cortaron las lianas para los árboles alrededor de un año antes de la cosecha. Los datos de los inventarios fueron procesados y se prepararon mapas de localización de árboles durante la época de lluvia. Antes de la cosecha las brigadas de trabajo marcaron los árboles y luego planificaban y marcaban los caminos para deslizamientos. Los mapas indicaban las direcciones más favorables para hacer los cortes. Los aserraderos capacitados hacían las talas usando técnicas direccionales de acuerdo con los planes siempre y cuando fuera posible. La madera era deslizada con un deslizador con ruedas que tenía arpeo y montacargas (Caterpillar 525).

Evaluación de los efectos de explotación y daños al dosel

Tanto las áreas convencionales como la RIL fueron reinventariadas y trazadas para hacer mapas por forestales y técnicas de la Fundacao Floresta Tropical quienes llevaron récord de los números de árboles derribados y el total de volumen geométrico deslizado del bosque. Se midieron los caminos, la plataforma de los troncos, y las áreas y largos de las deslizaderas y se hicieron mapas usando cinta de medir de fibra y vidrio y compás. También se midieron los anchos de los caminos, plataforma de los troncos, y las deslizaderas usando una cinta de medir a intervalos de 50 m. La localización de árboles, y los datos de caminos, deslizaderas, y plataformas se transfirieron a mapas de papel a una escala de 1:1000. Luego se digitalizaron los mapas en Arc/Info y se geo-rectificaron usando medidas de campo de GPS adquiridas con un receptor Garmin GPS 2+. Las áreas para las cosechas de 1996 se calcularon directamente de medidas de campo. Para las cosechas de 1998, utilizamos los datos ya dispuestos en mapas digitalizados para calcular las áreas de caminos, deslizaderas y plataformas. Los errores introducidos por los mapas hechos a mano y la digitalización fueron ajustados usando los datos de campo.

Medimos la fracción de apertura de dosel usando el instrumento LAI-2000 (LiCor, Inc.) a -0.5 m sobre la superficie de la tierra. Ocasionalmente, cuando nuestro punto de muestreo, seleccionado al azar, caía encima de un tronco derribado de más de 0.5 m de diámetro, medíamos desde la parte superior del tronco. La fracción de apertura (alcance de 0 a 1) se define simplemente como la proporción de hemisferio sobre el instrumento que tiene una vista clara del cielo (no hay interferencia de vegetación del dosel). Cuando este instrumento LAI-2000 se usa más frecuentemente para reportar índice del área foliar (LAI, por sus siglas en inglés, leaf

area index), escogimos reportar la fracción de apertura, la medida básica del instrumento. El LAI se calcula basado en la fracción de apertura y un modelo de distribución de hojas. La distribución de hojas es altamente irregular en los cuadrantes donde se lleva a cabo la explotación forestal y por tanto puede no estar bien cuantificada usando los modelos estandar. Ya que el LAI-2000 integra sobre un hemisferio usamos un escudo apropiado (90° campo de visión) sobre el lente del instrumento para evitar ver el operador. Restringimos nuestras medidas a temprano en la mañana y tarde en las tardes (debido al ángulo bajo del sol) o en un tiempo en que había una cobertura relativamente uniforme de nubes.

Las medidas de fracción de apertura fueron estratificadas de acuerdo con unidades de paisaje. Dividimos los bosques explotados en cuatro categorías de paisajes: (1) caminos y plataformas de troncos; (2) veredas deslizadoras; (3) caídas de árboles; y (4) áreas no perturbadas. Para los caminos y plataformas hicimos medidas en transectos seleccionados al azar. Cada transecto comenzaba en la orilla de una plataforma y corría por 100 m a lo largo del camino. Se tomaron submuestras a intervalos de 10 m y promediaron. Estas submuestras se normalizaron a medidas de cielo claro de trasfondo adquiridas inmediatamente antes y después del transecto. Para las veredas de deslizamientos escogimos nuevamente puntos al azar y seguimos el mismo procedimiento, pero el transecto siempre comenzaba al menos 20 m de la plataforma. Para los árboles derribados, se escogieron árboles al azar de los mapas de cosechas. El transecto del muestreo comenzó en el centro de la apertura de dosel, y corría 100 m a lo largo de un radio seleccionado al azar. Las medidas de fracción de apertura para bosque no perturbado fueron adquiridas en un cuadrante de control de 50 hectáreas a lo largo de transectos de 100 m escogidos al azar.

Resultados preliminares y discusión

Los efectos en tierra de la explotación están reportados en la tabla 1. Como una proporción del área total, la práctica convencional en Cauaxi causó casi el doble de daño a nivel tierra. La distinción es particularmente marcada en el área de las veredas de deslizamientos. La planificación y el marcado de estas veredas es un método efectivo para minimizar el disturbio en tierra. Dado que los efectos de disturbios en tierra sobre las propiedades físicas y químicas del suelo (y presumiblemente sobre la regeneración forestal) son de larga duración, McNabb y otros (1997), las prácticas RIL tienen el potencial para mejorar sustancialmente los prospectos de la producción forestal futura cuando se comparan con la práctica convencional.

Al nivel del dosel, tanto el RIL como la explotación convencional producen disturbio notable. En el bosque sin perturbar en Cauaxi medimos una fracción de apertura de dosel promedio (\pm la desviación estandar) de 0.013 (\pm 0.010). La fracción de apertura de dosel para 3 estratas de muestreo en el bosque para 2 años y 2 niveles de impacto de explotación se pueden apreciar en la tabla 2. Independientemente del tratamiento y el estrato, todas las áreas de explotación muestreadas tenían una fracción de apertura de dosel mayor que el bosque intacto. Sin embargo, en cada año, los tratamientos convencionales siempre tenían una fracción de apertura mayor que el tratamiento RIL pareado. Comparado con el tipo de tratamiento, la fracción de apertura de dosel declinó con el tiempo transcurrido desde la explotación. Como se esperaba, los tratamientos de 1996 tienen fracciones de aperturas menores por estrato muestreado que los tratamientos de 1998.

Integradas sobre el área de las áreas de estudio, las áreas explotadas convencionalmente tendrán una proporción mucho mayor de

disturbio de dosel. La intensidad de disturbio es mayor en los tratamientos explotados convencionalmente en comparación con tratamientos RIL. Más aún, la extensión del disturbio es casi dos veces mayor en tratamientos convencionales (tabla 1). Conforme continúe este trabajo, he planificado estimar los disturbios de dosel de área integrada usando el GIS creado para esta área de estudio.

Mi trabajo en el futuro con asociados de la Fundación del Bosque Tropical y la Universidad de Colorado sobre la interrogante del disturbio de explotación al dosel cuantificará el impacto del disturbio en un número mayor de cuadrantes y sobre un período de tiempo transcurrido mayor desde el disturbio. Este trabajo basado en tierra servirá como preparación para la interpretación de imageriea de satélite de bosque explotado. Actualmente, los estimados de explotación se hacen usando inventarios basados en tierra de aserraderos (e.g. Nepstad y otros 1999). Estos inventarios son costosos y sujetos a muchas suposiciones y los prejuicios introducidos al entrevistar a los dueños y administradores de los aserraderos. Aún cuando los prejuicios se puedan corregir en el análisis de datos, nuestra meta es desarrollar un método independiente para la estimación de área de explotación usando imageriea de satélite futura. La comprensión de los cambios en la estructura del dosel forestal es crítico para la interpretación de datos de monitoreo telesensorial futuros. (Ver tablas, versión inglés).

AGRADECIMIENTOS

Este artículo describe un trabajo en progreso por Rodrigo Pereira Junior, Johan Zweede, Casey Codey y Greg Asner. Agradezco al Programa de Ecología Terrestre de NASA (por sus siglas en inglés, National Aeronautics and Space Administration) y a la Fundación de Bosque Tropical (Tropical Forest Foundation) por su apoyo.

Literatura Citada

- Brouwer, C. Leo. 1996. Nutrient cycling in pristine and logged tropical rain forest. A study in Guyana, Tropenbos-Guyana Series 1. 224 p.
- Cochrane, M.A.; Schulze, M.D. 1999. Positive feedbacks in the fire dynamic of closed canopy tropical forests, *Science Magazine*, 284. 1832-1835.
- FAO. 1996. Forest codes of practices: contributing to environmentally sound forest operations. FAO Forestry Paper 133. 132 p.
- Hill, J.K.; Hamer, K.C.; Lace, L.A.; Banham, W.M.T. 1995. Effects of selective logging on tropical forest butterflies on Buru, Indonesia, *Journal of Applied Ecology*. 32: 754-760.
- McNabb, K.L.; Miller, M.S.; Lockaby, B.G. [y otros]. 1997. Selection harvests in Amazonian rainforests: long-term impacts on soil properties. *Forest Ecology and Management*. 93: 153-160.
- Nepstad, D.C.; Verissimo, A.; Alencar, A. [y otros]. 1999. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire, *Nature*. 398: 505-508.
- Pinard, M.; Howlett, B.; Davidson, D. 1996. Site conditions limit pioneer tree recruitment after logging of dipterocarp forests in Sabah, Malaysia, *Biotropica*. 28: 2-12.
- Uhl, C.; Barreto, P.; Verissimo, A. [y otros]. 1997. Natural resource management in the Brazilian Amazon, *BioScience*. 47: 160-168.
- Uhl, C.; Kauffman, J.B. 1990. Deforestation, fire susceptibility, and potential tree responses to fire in the eastern amazon, *Ecology*. 7: 437-449.

1998-99
Annual Letter
PUBLICATIONS
International Institute of Tropical Forestry
USDA Forest Service
PO Box 25000
Río Piedras, PR 00928-5000

To obtain copies of publications indicated as available for distribution, please return this request form to the address above with your circled publications.

Para obtener copias de las publicaciones indicadas como disponibles para distribución, favor de circular el número deseado y devolver esta forma a la dirección arriba indicada.

001	016	031	046	061	076	091	106	121	136	151	166	181	196	211	226
002	017	032	047	062	077	092	107	122	137	152	167	182	197	212	227
003	018	033	048	063	078	093	108	123	138	153	168	183	198	213	228
004	019	034	049	064	079	094	109	124	139	154	169	184	199	214	
005	020	035	050	065	080	095	110	125	140	155	170	185	200	215	
006	021	036	051	066	081	096	111	126	141	156	171	186	201	216	
007	022	037	052	067	082	097	112	127	142	157	172	187	202	217	
008	023	038	053	068	083	098	113	128	143	158	173	188	203	218	
009	024	039	054	069	084	099	114	129	144	159	174	189	204	219	
010	025	040	055	070	085	100	115	130	145	160	175	190	205	220	
011	026	041	056	071	086	101	116	131	146	161	176	191	206	221	
012	027	042	057	072	087	102	117	132	147	162	177	192	207	222	
013	028	043	058	073	088	103	118	133	148	163	178	193	208	223	
014	029	044	059	074	089	104	119	134	149	164	179	194	209	224	
015	030	045	060	075	090	105	120	135	150	165	180	195	210	225	

Our regulations require that our mailing list be updated annually. IF ANY CORRECTION OF YOUR ADDRESS IS NECESSARY, PLEASE INDICATE BOTH YOUR CURRENT AND PREVIOUS ADDRESS, AS OUR ADDRESSES ARE FILED BY GEOGRAPHICAL LOCATION.

Nuestros reglamentos requieren que la lista de distribución sea revisada anualmente. DE SER NECESARIO CORREGIR SU DIRECCIÓN, FAVOR DE INDICARNOS TANTO SU DIRECCIÓN ACTUAL COMO LA ANTERIOR DEBIDO A QUE NUESTRAS DIRECCIONES SON ARCHIVADAS POR LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA.

*IF YOU ARE NOT NOW ON OUR MAILING LIST BUT WISH TO BE PLACED ON IT, WRITE YOUR ADDRESS BELOW AND CIRCLE "NEW."

*SI ACTUALMENTE NO SE ENCUENTRA EN NUESTRA LISTA DE DISTRIBUCIÓN PERO DESEA ESTARLO, ESCRIBA SU DIRECCIÓN Y CIRCULE "NEW."

New or Current Address

Previous Address